

# Tietunnelin rakennetekniset ohjeet

1.6.2015





# Tietunnelin rakennetekniset ohjeet

1.6.2016

Liikenneviraston ohjeita 14/2015

*Kannen kuva: Liikenneviraston kuva-arkisto: Kolsilan tunnelin suuaukon viimeistelytyötä*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-317-049-0

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Suunnitteluosasto

Vastaanottaja

Säädösperusta

Korvaa/muuttaa

Tietunnelin suunnitteluohje (luonnosversio 0.92, 12.1.2005),  
rakennetekniset osuudet kappaleissa D.3.2-5 ja G.1.5

Kohdistuvuus

Voimassa

1.6.2015 alkaen toistaiseksi

Asiasanat

ohjeet, tunnelit, mitoitus, rakenteellinen suunnittelu

## Tietunnelin rakennetekniset ohjeet

Liikenneviraston ohjeita 14/2015

Tätä ohjetta käytetään tietunnelien rakenneteknisessä suunnittelussa. Muiden tekniikka-alueiden vaatimukset esitetään Liikenneviraston muissa ohjeissa.

Tätä ohjetta täydennetään hankekohtaisissa vaatimuksissa.

Tämän ohjeen mukaisesti suunniteltu rakenne edellytetään toteutettavaksi voimassa olevan InfraRYLin vaatimusten mukaisesti.

Ylijohtaja



Mirja Noukka

Tekninen johtaja



Markku Nummelin

### LISÄTIETOJA

Antti Rytkönen

Liikennevirasto

puh. 0295 34 3598

## Esipuhe

Tämä ohje on laadittu Liikenneviraston toimeksiannosta A-Insinöörit Suunnittelu Oy:ssä loppuvuoden 2014 ja alkuvuoden 2015 aikana. Ohje on laadittu yhtenäistämään tietunneleiden rakennesuunnittelua.

Ohje on laadittu A-Insinöörit Suunnittelu Oy:ssä Kari Niemen ohjauksessa. Ohjeen ovat kirjoittaneet Mikko Hyyrynen (A-Insinöörit Suunnittelu Oy) ja Olli Salo (Saanio & Riekkola Oy). Työtä on ohjannut asiantuntijaryhmä, johon ovat edellä mainittujen henkilöiden lisäksi kuuluneet Antti Rytönen, Laura Väisänen ja Heikki Lilja Liikennevirastosta. Ryhmän apuna on ollut myös muita asiantuntijoita. Tavanomaisen lausuntokierroksen lisäksi ohjeluonnokseen kerättiin parannusehdotuksia myös Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RILin kerhoillassa joulukuussa 2014.

Helsingissä kesäkuussa 2015

Liikennevirasto  
Infra ja ympäristö -osasto / taitorakenneyksikkö

## Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ .....	7
1.1	Rakennetekniset määritelmät .....	7
1.2	Tietunnelin rakenneosien luokittelu .....	9
1.3	Rajaukset .....	10
1.4	Määräykset ja suunnitteluohjeet .....	10
2	MATERIAALIOMINAISUUDET JA SÄILYVYYS.....	11
2.1	Kallio .....	11
2.2	Valubetoni.....	11
2.3	Ruiskubetoni .....	15
2.4	Betoniteräksiset, jänneteräksiset, kuidut .....	15
2.5	Teräsrakenteet, kiinnikkeet .....	16
2.6	Lujituspultit ja kallioankkuroinnit .....	17
2.7	Varusteet ja laitteet.....	17
2.8	Materiaalien osavarmuusluvut.....	17
2.9	Käyttöikävaatimukset .....	18
3	KUORMAT JA MITOITUSPERUSTEET .....	19
3.1	Yleistä .....	19
3.2	Osavarmuusluvut ja kuormitusyhdistelyt .....	19
3.3	Liikenteen aiheuttamat painekuormat .....	20
3.4	Lumi- ja jääkuormat .....	20
3.5	Lämpötilakuormat .....	20
3.6	Lohkareiden putoamiskuorma .....	21
3.7	Varusteiden ja laitteiden kiinnitysosien kuormat.....	21
3.8	Törmäyskuormat.....	22
3.9	Räjähdyspaineekuormat.....	23
3.9.1	Räjähdyspaineekuormien käyttö.....	23
3.9.2	Räjähdyspaineekuormat .....	23
3.10	Muut lisäkuormat.....	24
3.11	Työnaikaiset kuormat .....	24
4	RAKENNETEKNINEN MITOITUS.....	25
4.1	Yleistä .....	25
4.2	Rakenneanalyysit .....	25
4.3	Murtorajatilat .....	25
4.4	Käyttörajatilat .....	25
4.5	Väsytystarkastelut.....	25
4.6	Onnettomuustilanteet .....	26
4.7	Palotekninen mitoitus.....	27
4.7.1	Yleistä .....	27
4.7.2	Vaatimukset .....	27
4.7.3	Mitoitus .....	29
5	RAKENTEELLISET VAATIMUKSET .....	33
5.1	Lämpötekkinen mitoitus .....	33
5.2	Tunnelin vedeneristys ja kuivatus.....	33
5.3	Kalliotunnelin lujitus- ja tiivistysrakenteet .....	35
5.3.1	Kallion lujitusrakenteet.....	35

---

5.3.2	Injektointi ja vedeneristys .....	35
5.4	Suuaukkorakenteet .....	36
5.5	Törmäysrakenteet.....	38
5.6	Korkeudenrajoitinportaalit .....	39
6	SUUNNITELMAT .....	40
6.1	Yleistä .....	40
6.2	Suunnitelmien tarkastaminen .....	40

**LIITTEET**

Liite 1	Esimerkkejä tunnelin rakenteiden rasitusluokista ja vähimmäis- vaatimuksista
Liite 2	Verhousrakenteen kuormitusyhdistelyt
Liite 3	Palo- ja räjähdysmitoituksen lähtökohtainen laajuusvalintataulukko



# 1 Yleistä

## 1.1 Rakennetekniset määritelmät

### Deflagraatio

Humahdus tai räjähtävä palaminen. Deflagraatiossa huippupaine vaikuttaa detonaatiota myöhemmin palamisen alkamishetkestä. Palamisvyöhyke etenee nopeudella, joka on pienempi kuin äänen nopeus reagoimattomassa aineessa.

### Detonaatio

Materiaalin räjähdysmäinen palaminen, jonka huippupaine vaikuttaa räjähdysketkellä. Palamisvyöhyke etenee nopeudella, joka on suurempi kuin äänen nopeus reagoimattomassa aineessa.

### Huoltotunneli

Huoltoliikenteelle tarkoitettu tunneli.

### Kansi

Kantavilla rakenteilla (esim. pilarit, seinät) tuettu tien siltamainen kate, joka rakenneteknisesti mitoitetaan joko tunnelina tai siltana. Kansia ei ole rakennettu Liikenneviraston väylien päälle.

### Kaukalo

Päältä avoin yhtenäinen kantava rakenne pohjaveden ja maan painetta vastaan.

### Kuilu

Kuilu on pystysuora tai kallistettu yleensä maanalaisesta tilasta maan pinnalle johtava reitti. Kuilulla voidaan yhdistää maanalaisia tiloja toisiinsa.

### Pelastustunneli

Erillinen palo-osastoitu tunneli, joka toimii sekä pelastustienä että uloskäytävänä.

### Päällerrakennettu tai päällerrakennettava tietunneli

Tietunneli, jonka päälle tai välittömään läheisyyteen on rakennettu, kaavoitettu tai aikomus kaavoittaa rakennuksia. Tie- ja rautatiesiltojen rakentaminen ei ole päällerrakentamista.

### Seinän alaosa

Tietunnelin seinän alaosa, johon ajoneuvo voi törmätä.

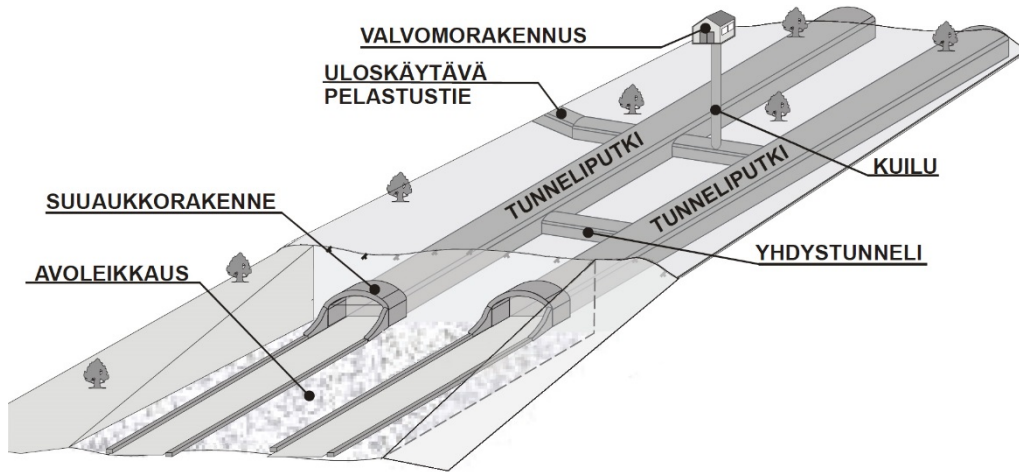
### Tekninen tila

Tietunnelin varusteille ja laitteille tarkoitettu erillinen tila.

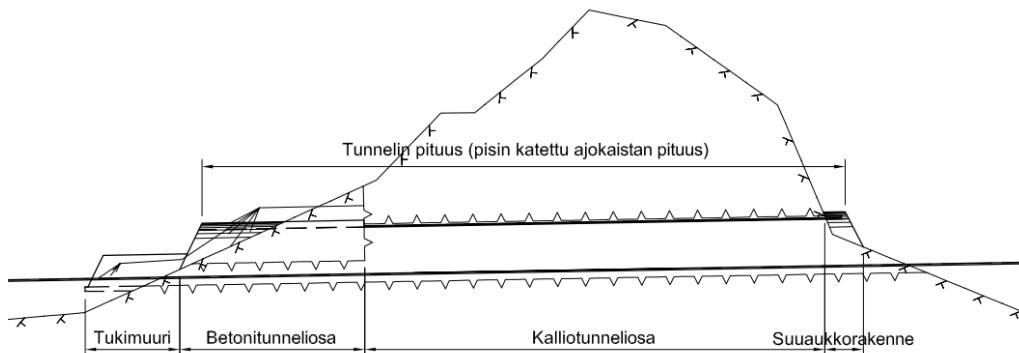
### Tietunneli

Tietunneli on yhden tai usean ajoneuvoliikenteelle tarkoitetun tunneliputken sekä niihin liittyvien suuaukkorakenteiden, kaukaloiden, kuilujen, yhdyskäytävien ja teknisten tilojen muodostama kokonaisuus ( Kuva 1).

Tietunnelin pituus määritetään Liikenneviraston ohjeen 14/2014 ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset” mukaan. Tietunnelin pituudella tarkoitetaan pisimmän ajokaistan pituutta, joka on kokonaan katettu ( Kuva 2).



Kuva 1. Tietunnelin pää rakenneosat (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2014)



Kuva 2. Tietunnelin pituusleikkaus

#### Tukimuuri

Pysyvä maanpaineseinä.

#### Tunneliaukko

Verhousrakenteen, seinän alaosan ja tienpinnan rajaama tunnelin poikkileikkaus tunneliputkessa. Tunneliaukkoon sisältyy tieliikenteen tarvitsema vapaa leveys ja vapaa korkeus, joiden alueella ei saa olla kiinteitä eikä myötääviä esteitä, sekä reuna-alueet, joissa voi olla edellä mainittuja esteitä.

#### Tunneliputki

Tunneliputki on rakenteellisesti yhtenäinen, molemmista päistään maan pinnalle johdettava, sivuilta ja päältä katettu tila. Tunneleita voidaan ryhmitellä putkien määrän mukaan.

### Työtunneli

Varsinaisen tietunnelin rakentamista varten tehty tunneli, joka ei jää pysyvään käyttöön.

### Valubetonirakenne

Betonirakenne, joka voi olla paikallavalettu tai elementtirakenne. Määritelmä erottaa ruiskubetonirakenteet omaksi ryhmäkseen.

### Verhousrakenne

Tunnelin kantavista rakenteista ripustettu holvin ja seinät verhoava rakenne kannatin- ja eristysrakenteineen. Verhousrakenne toimii tunnelin veden-, lämmön- ja paloeristeenä. Tyypillisiä verhousrakenteita ovat betonitunnelin palonsuojaeristeet ja kalliotunnelin ruiskubetoniverhous.

### Yhdyskäytävä

Kahden tunneliputken välillä oleva palo-osastoitu käytävä, joka palvelee huoltoa, teknisiä järjestelmiä sekä mahdollisesti henkilö- ja huoltoajoneuvoliikennettä.

### Yhdystunneli

Louhittu tai rakennettu tunneliputkia yhdistävä tila, jonka sisällä voi olla esimerkiksi yhdyskäytäviä ja teknisiä tiloja.

## 1.2 Tietunnelin rakenneosien luokittelu

Tietunnelin mitoitettavat rakenteet jaetaan kantaviin rakenteisiin, sekundäärisiin rakenteisiin sekä varusteiden ja laitteiden kiinnitysosiin.

Kantavat rakenteet kiinnitysosineen

- Kallio ja kallion lujitusrakenteet (kalliorakennesuunnittelu)
- Suuaukkorakenteet
- Betoni- ja terästunnelien kantavat rakenteet
- Kaukalorakenteet (osana tunnelin suuaukkoa)
- Tukimuurit (osana tunnelin suuaukkoa)
- Yhdyskäytävien ja -tunneleiden sekä kuilujen kantavat rakenteet
- Pohja- ja maatayttörakenteet

Sekundääriset rakenteet kiinnitysosineen

- Verhousrakenne
- Palosuojaus
- Tunnelin seinän alaosa
- Yhdyskäytävien ja kuilujen ei-kantavat rakenteet
- Korkeudenrajoitinportaali

Varusteiden ja laitteiden kiinnitysosat

- Tyypillisiä kiinnitysosia vaativia varusteita ja laitteita ovat muun muassa ovet, puhaltimet, portaalit, opasteet, valaisin- ja sähköhylyt, sammutus-, liikenteenhallinta ja muut tekniset järjestelmät

## 1.3 Rajaukset

Tämä ohje käsittelee tietunneleiden rakenneteknistä mitoitus-

Lisäksi ohjeessa esitetään päällerakentamisen vaikutus tietunnelin rakennetekniseen palo- ja räjähdysmitoitukseen. Muut päällerakentamisesta aiheutuvat vaatimukset esitetään Liikenneviraston muissa ohjeissa ja hankekohtaisissa vaatimuksissa.

Ohjeen lähtökohtana on kalliorakenneteknisiin laskelmin mitoitettu sekä valmiiksi lujitettu ja tiivistetty kalliotila. Kalliorakennetekninen mitoitus esitetään niitä koskevissa ohjeissa. Kappaleessa 5.3 Kalliotunnelin luji- ja tiivistysrakenteet esitetään havainnollisuuden vuoksi kuitenkin Suomessa yleisiä kalliotunnelin rakentamismenetelmiä.

Kalliorakennesuunnitelmat liitetään osaksi tietunnelin suunnitelmia. Tunnelin kalliorakenteet mitoittaa kalliorakennesuunnittelija. Kalliorakennesuunnitelmissa esitetään kohteen louhintaa, luji- ja tiivistys.

Tässä ohjeessa ei käsitellä tie- ja liikenneteknistä mitoitus-. Tien mitoitus- on annettu raja-arvoja turvallisuusnäkökulmasta ohjeessa ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet” (Liikenneviraston ohjeita 14/2014).

Tietunnelin teknisille laitteille ja turvallisuusjärjestelmille on esitetty vaatimuksia ohjeessa ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet” (Liikenneviraston ohjeita 14/2014).

## 1.4 Määräykset ja suunnitteluohjeet

Tunnelin rakenteet suunnitellaan noudattaen eurokoodeja kansallisten valintojen mukaisesti (kansalliset liitteet). Näiden ohella rakenteiden suunnittelussa noudatetaan tätä ohjetta sekä Liikenneviraston muita taitorakenteiden suunnittelu- ja soveltamisohjeita. Ohjeiden pätevyysjärjestys annetaan hankekohtaisesti.

Tunnelit on jaettu pituuden ja turvallisuusnäkökohtien mukaan eri luokkiin ohjeessa ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet, Liikenneviraston ohjeita 14/2014”. Rakenneteknisessä mitoituksessa luokitus vaikuttaa ainoastaan palo- ja onnettomuusmitoitukseen (Liite 3).

Viitteellinen noudatettavien ohjeiden luettelo

- EU:n tietunneleita koskevat direktiivit
- Liikenteen turvallisuusviraston (TraFi) määräykset
- Liikenneviraston ohje: ”Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet” (Liikenneviraston ohjeita 14/2014)
- Liikenneviraston antamat hankekohtaiset suunnitteluperusteet
- Eurokoodit ja niiden kansalliset liitteet
- Liikenneviraston eurokoodien soveltamisohjeet (NCCI)
- Muut Liikenneviraston ohjeet
- Rakentamismääräyskokoelman määräykset ja ohjeet

## 2 Materiaaliominaisuudet ja säilyvyys

### 2.1 Kallio

Kalliossa on rakoja, rikkonaisuusvyöhykkeitä, ruhjeita ja muita epäjatkuvuuksia, jotka aiheutuvat pääasiassa kallioperän ominaisuuksista ja siinä vaikuttavista jännityksistä. Kalliotilojen louhinta voi muuttaa sitä ympäröivän kallioperän rakennettavuusominaisuuksia. Tämän ohjeen lähtökohtana on lujitettu ja tiivistetty kallio. Kalliotilat jaotellaan Eurokoodin 7 mukaisiin geoteknisiin luokkiin.

Kallio koostuu rakojen rajaamista lohkoista. Lujituksella varmistetaan niiden pysyminen yhdessä. Irtonaiset lohkot (komut) poistetaan yleensä ennen lujitusta. Lujitusrakenne siirtää kallioon kiinnitettyjen rakenteiden kuormat kallioon. Tiivistystoimenpiteillä vähennetään tai estetään kallioperässä olevien aineiden pääsy kalliotilaan, vähennetään tai poistetaan kallion lujitusrakenteisiin pohjavedestä kohdistuva paine sekä ohjataan mahdolliset vuodot hallitusti kalliotilan salaojajärjestelmiin. Tiivistystoimenpiteistä huolimatta kalliossa virtaava kalliopohjavesi on otettava huomioon etenkin kalliotartuntojen suunnittelussa.

Kallion lujitusrakenteiden eurokoodin mukainen seuraamusluokka määräytyy kuten kantavien rakenteiden osalta. Rakennesuunnittelijan on tiedostettava kallioperän mahdollinen epähomogeeninen luonne erityisesti kallioon kiinnitettävien rakenteiden ja ankkurointien suunnittelussa. Kaikki vedetyt ankkuroinnit ulotetaan louhinnasta tai muusta syystä syntyneen rikkonaisuusvyöhykkeen sekä reunalohkojen läpi kiinteään kallioon. Kalliolujitusten ja tiivistysten suunnittelu on kalliorakennesuunnittelijan tehtävä. Rakenteiden ankkuroinnit ja kiinnitykset suunnittelee rakennesuunnittelija yhdessä kalliorakennesuunnittelijan kanssa.

### 2.2 Valubetoni

Tunnelin valubetonirakenteiden materiaaliominaisuudet määritellään sillansuunnitteluohjeistuksen (NCCI 2) mukaisesti. Valubetonirakenteita ovat paikallavalu- ja elementtirakenteet.

Valubetonirakenteiden laatuvaatimukset jaetaan ympäristöolosuhteiden mukaisesti eri luokkiin sillansuunnitteluohjeistuksen tapaan. Tunnelin osat luokitellaan samoilla rakenneosatunnuksilla kuin siltarakenteet betonirakenteiden P-lukumenettelyn soveltamisen helpottamiseksi. Rakenneosatunnukset valitaan hankekohtaisesti rakennetta parhaiten kuvaavilla termeillä ohjetta NCCI 2 noudattaen.

Sillanrakennusohjeista poiketen suolasumurasitus kohdistuu myös tien yläpuolisille rakenteille, vaikka ne olisivat kuutta metriä ylempänä tien pinnasta. Suolasumurasituksen vaikutus ei pitkällä tunneleilla ulotu koko tunnelin matkalle. Ulottuma määritellään hankekohtaisesti ja hyväksytetään Liikennevirastolla.

Vähimmäisvaatimukset tunneliaukon ulkopuolisille rakenteille, kuten yhdyskäytävien ja teknisten tilojen sisään tulevien rakenteiden ja valvomorakennusten betonirakenteille, voidaan määritellä hankekohtaisesti rasisustason perusteella ympäristöministeriön ja esimerkiksi Betoniyhdistyksen ohjeiden mukaisesti. On otettava huomioon,

että Liikenneviraston ohjeistuksessa ja suunnitelmissa esitetään nimellisen betonipeitteen arvot ( $C_{nom}$ ), kun taas muu ohjeistus (esim. BY50-2012 tai RIL202-2011/BY61) koskee yleensä minimipeitettä ( $C_{min}$ ). Sekaannusten välttämiseksi suunnitelmiin kirjataan nimellinen betonipeite. Jäädytys-sulatusrasitukselle alttiit rakenteet tulee valmistaa P-lukumenettelyä noudattaen.

Hankekohtaisesti voidaan sopia lievemmistä vaatimuksista, jos tunnelin pakkasmäärä on määritetty virtausanalyyysien tai muun luotettavan selvityksen perusteella. Käytännössä tämä edellyttää lähes vastaavan tunnelin pakkaskauden aikaiseen kattavaan lämmönmittaukseen perustuvaa analyysia. Analyysien pakkasmääriin on arvioitava varmuus hankekohtaisesti.

Alla oleviin taulukoihin (Taulukko 1, Taulukko 2 ja Taulukko 3) on koottu tunneleiden betonirakenteiden vähimmäisvaatimuksia säilyvyyden kannalta. Taulukkojen rakenneosaluettelointia on havainnollistettu liitteessä 1 esitettyjen esimerkkirakenteiden kuvien avulla.

*Taulukko 1. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: Kantavat alus- ja seinärakenteet*

Tunnelin rakenneosat	Osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset				Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka 4)	P-lukuvaatimus	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] 4)	Raudoitustyyppi 1)		
Betonitunnelin ja suuaukkorakenteiden rakenteiden peruslaatat	Ro06	R1	XC2, XD1, XF4	C30/37	P50	50/100 (35) (5)	tr	100	
		R2	XC2, XD1, XF4	C30/37	P30	50/100 (35) (5)	tr	100	
		R4	XC2, XF2	C25/30	P20	50/100 (25) (5)	tr	100	
Betonitunnelin ja suuaukkorakenteiden seinät yleensä 2)	Ro10	R1	XC3, XC4, XF2	C30/37	P30	45	tr	100	
						55	jr		
		R2	XC3, XC4, XF2	C30/37	P20	40	tr	100	
						50	jr		
		R4	XC3, XC4, XF2	C30/37	P20	40	tr	100	
						50	jr		
Suolasumurasitetut betonitunnelin ja suuaukkorakenteiden seinät 2)	Ro11	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	C35/45	P50	45	tr	100	(3)
						55	jr		
		R2	XC3, XC4, XD1, XF2	C30/37	P30	40	tr	100	(3)
						50	jr		
		R3	XC3, XC4, XS1, XF2	C30/37	P30	40	tr	100	
						50	jr		

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
- 2) Suolasumun otaksutaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta.
- 3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitetujen pintojen suojausta. Suojauksena voidaan käyttää myös julkaisun Siltapilareiden kuoret [13] mukaisia kuorirakenteita. Betonisen kuorirakenteen rasitusluokat Ro11 mukaan.
- 4) Betonipeitteen nimellisarvo vedenalaisessa valussa on 150 mm. Vaadittaessa huuhtoutumisen estävän lisäaineen käyttöä betonin suhteutuksessa, voidaan teräspuutken sisävalussa käyttää 50 mm:ä betonipeitteen nimellisarvona. Betonin lujuusluokaksi valitaan vedenalaisessa valussa 5 MPa suunnittelulujuutta suurempi arvo.
- 5) Muottia vastaan valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalaskennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo tavanomaiselle raudoitteelle. Todellisena betonipeitteenä halkeamalaskennassa ei käytetä suurempaa arvoa kuin 50 mm.

Taulukko 2. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: Kantavat holvirakenteet

Tunnelin rakenneosa	Osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset				Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)		
Holvin vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro20	R1	XC3,XC4,XF2	C30/37	P30	40	tr	100	
						50	jr		
		R2	XC3,XC4,XF2	C30/37	P20	40	tr	100	
						50	jr		
		R4	XC3,XC4,XF2	C30/37	P20	40	tr	100	
						50	jr		
Holvin suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro21	R1	XC3,XC4,XF2,XD1	C30/37	P30	45	tr	100	(3)
						55	jr		
		R2	XC3,XC4,XF2,XD1	C30/37	P20	40	tr	100	(3)
						50	jr		
		R3	XC3,XC4,XS1,XD1, XF2	C30/37	P30	40	tr	100	(3)
						50	jr		
Suuaukkojen reunapalkit ja kaulusrakenteet	Ro22	R1	XC4,XD3,XF4	C35/45	P50	45	tr	50	(4)
						55	jr		
		R2	XC4,XD2,XF4	C35/45	P50	40	tr	50	(4)
						50	jr		
		R3	XC4,XS1,XD3,XF2	C35/45	P30	45	tr	50	(4)
						55	jr		
		R4	XC4,XF2	C30/37	P30	40	tr	70	
						50	jr		

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
- 2) Suolasumun otaksutaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta. Päälysrakenteella palkkien ja kansilaatan liikenteen tulosuunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.
- 3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 ei rakennetta tarvitse suojata.
- 4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret [12] mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään ei suolasumurasitetun päälysrakenteen rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.

Taulukko 3. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset: tunnelin sekundäärirakenteet

Tunnelin rakenneosia	Osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset				Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)		
Verhousrakenteen takapinta ja muut sekundääriset ei-suolasumurasitetut rakenteet	Ro40	R4	XC3,XC4,XF2	C30/37	P25	35 (4) 45 (4)	tr jr	50	
Verhousrakenteen etupinta ja muut suolasumurasitetut sekundäärirakenteet (holvissa ja seinissä) (2)	Ro41	R1	XC3,XC4,XD3,XF4	C35/45	P40	50 (4) 60 (4)	tr jr	50	
		R2	XC3,XC4XD2,XF2	C30/37	P25	45 (4) 55 (4)	tr jr	50	
		R3	XC3,XC4,XS1,XF2	C30/37	P25	40 (4) 50 (4)	tr jr	50	
		R1	XC3,XC4,XD3,XF4	C35/45	P50	50 (4) 60 (4)	tr jr	50	
		R2	XC3,XC4XD2,XF2	C35/45	P50	45 (4) 55 (4)	tr jr	50	
		R3	XC3,XC4,XS1,XF2	C35/45	P30	45 (4) 55 (4)	tr jr	50	
Seinän alaosan suolasumurasitetut pinnat (2)	Ro42	R4	XC4,XF2	C30/37	P30	45 (4) 55 (4)	tr jr	50	
		R1	XC2	C25/30	-	30/80 (20) (3)	tr	50	
		R1	XC2,XD1,XF4	C30/37	P40	40/90 (30) (3)	tr	50	
		R2	XC2,XD1,XF2	C30/37	P25	40/90 (30) (3)	tr	50	

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
- 2) Suolasumun otaksutaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta. Päälysrakenteella palkkien ja kansilaatan liikenteen tulosuunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.
- 3) Muottia vastaan paikalla valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalakennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo tavanomaiselle raudoitteelle. Mikäli maata vasten käytetään muovia tai suodatinkangasta voidaan käyttää muottia vasten olevaa nimellisarvoa ja vähimmäisarvoa kasvattamalla niitä 10 mm. Tällöin valualustan tasaisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota.
- 4) Nimellisarvovaatimusta voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonipeitteen sallittu mittapoikkeaman arvo, joka on tällöin myös esitettävä suunnitelmassa, on 5 mm.

**Rasitusluokkaryhmä R1:** Betonirakenteet tunneleissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1500, esim. kaupunkien sisääntulotiet, talvihoitoluokka Is tai I) ja jotka sijaitsevat alle 6 m päässä kyseisen tien reunasta.

**Rasitusluokkaryhmä R2:** Betonirakenteet tunneleissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (KVL>350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) ja jotka sijaitsevat alle 6 m päässä kyseisen tien reunasta.

**Rasitusluokkaryhmä R3:** Rakenteet meren rannalla.

**Rasitusluokkaryhmä R4:** Rakenne ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään.



Voimakkaasti kloridirasitettujen betonipintojen suunnittelukäyttöään saavuttamiseksi tulee ottaa huomioon NCCI 2 kappaleen 4.3 lisävaatimukset pintakäsittelystä.

Betonirakenteet on luokiteltu lähtökohtaisesti sään vaikutuksille alttiina oleviksi rakenteiksi. Hankekohtaisesti voidaan sopia esimerkiksi palonsuojalevytyksen ja tunnelin pituuden vaikutuksesta suolasumu- ja pakkasrasitukseen.

Kallioperän ja vuotovesien sisältämien haitta-aineiden aggressiivisuus on syytä tutkia ja ottaa huomioon rakenteiden säilyvyysmitoituksessa.

Käyttötilan halkeamaleveyden enimmäissuuruus valitaan Liikenneviraston betonirakenteiden soveltamisohjeen perusteella rakenneosan rasitusluokkien mukaan (NCCI 2, taulukko 7.1).

## 2.3 Ruiskubetoni

Ruiskubetoni eroaa valubetonista lähinnä betonointityön osalta. Ruiskubetonia käytetään tietunneleissa osana maa- ja kalliorakenteiden lujitusta (lujitusruiskubetoni, ks. kappale 5.3), kantavana rakenteena sekä vahvistus- ja korjaustöissä. Ruiskubetonia käytetään yleisesti myös verhousrakenteissa sekä muissa ympäristörasituksille ja tulipalolle alttiissa rakenteissa suojakuorena.

Ruiskubetonirakenteelle noudatetaan samoja vaatimuksia ja rakennusosatunnuksia kuin vastaavissa olosuhteissa sijaitsevalle valubetonirakenteille. Ruiskubetonirakenteiden osatunnukset, rasitusluokkaryhmät ja -luokat, materiaali vaatimukset sekä betonipeitevaatimukset on esitetty kappaleen 2.2 taulukoissa 1–3. Ruiskubetonissa käytettävä sementin vähimmäismäärä on aina 300 kg/m<sup>3</sup>.

Tietoa ruiskubetonista, ruiskubetonin käytöstä ja ruiskubetonoinnista löytyy Betoniyhdistyksen ohjeesta By 63 (2015), sekä InfraRYListä (osa 3) ja SILKO-ohjeista (1.232 ja 2.234). Ruiskubetonia koskevat määritelmät, vaatimukset ja vaatimuksen mukaisuus on esitelty tarkemmin standardissa SFS-EN 14487-1. Ruiskubetonin toteutusta käsitellään standardissa SFS-EN 14487-2.

## 2.4 Betoniteräket, jänneteräket, kuidut

Taitorakenteissa käytettävien betoniterästen sekä jänneterästen materiaaliominaisuudet ja laatuvaatimukset on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa NCCI 2.

Betonin ominaisuuksien parantamiseen käytetään yleisesti betoni- ja jänneterästen lisäksi kuituja. Rakenteelliset teräs- ja polymeerikuidut parantavat betonin taivutus-, leikkaus- ja vetolujuutta. Lisäksi ruiskubetonirakenteen pintakerroksessa ja verhousrakenteessa voidaan käyttää polymeereistä valmistettuja erityisiä mikrokuituja pienentämään kutistumishalkeamia ja ehkäisemään räjähdysmäistä lohkeilua (explosive spalling) palotilanteessa. Kuituja valmistetaan myös muista materiaaleista ja niillä on muitakin käyttösovelluksia kuin tässä ohjeessa on lueteltu.

Ruiskubetonin raudoituksena voidaan käyttää betoniterästankoja, betoniteräsverkkoja tai kuituja. Etenkin epätasaista kalliopintaa vasten ruiskutettavan ruiskubetonirakenteen verkkojen tulee olla muokattavissa. Betonipeitteen on täytettävä vastaavan valubetonirakenteen vaatimukset. Rakenteellisia teräskuituja käytettäessä ruiskubetonin betonipeite toteutetaan kuiduttomalla tai polymeerikuituja (mikrokuitu) sisältävällä kerroksella.

Teräskuitujen määrittely, vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus on kuvattu standardissa SFS-EN 14889-1 ja vastaavat määritteet polymeerikuiduille standardissa SFS-EN 14889-2 (luokka 1, mikrokuidut).

## 2.5 Teräsrakenteet, kiinnikkeet

Tunnelirakentamisessa käytettävien rakenneterästen ja kiinnikkeiden materiaalit valitaan Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI T perusteella. Suunnitteluotaksumat määritellään Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI 4 mukaisesti. Lisäksi noudatetaan valmistajan ETA/CE-hyväksynnän mukaisia suunnitteluohjeita.

Kiinnikkeiden materiaali tulee valita ottaen huomioon korroosio-olosuhteet sekä kiinnitettävän rakenteen käyttötarkoitus, riskitaso ja käyttöikävaatimus. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon palotilanne (ks. kappale 4.7).

Teräsrakenteet pintakäsitellään Liikenneviraston hyväksymiä ympäristöluokkien mukaisia pintakäsittelyjärjestelmiä käyttäen ohjeiden NCCI T ja SILKO 3.351 mukaisesti. Ympäristörasitus ja sen mukainen maalausjärjestelmä tulee valita hankekohtaisesti ja hyväksyttävä Liikennevirastolla. Maalausjärjestelmän valinnassa voidaan käyttää standardia SFS-EN ISO 12944-5. Teräsrakenteiden kuumasinkityksessä noudatetaan Liikenneviraston ohjetta NCCI T.

Tunneliaukossa olevat rakenteet pintakäsitellään rasitusluokan C5-M(H) ja muut rakenteet C4(H) mukaisesti. Voimakkaalle pakokaasurasitukselle altistuvat tekniset tilat mitoitetaan luokan C5-I(H) mukaisesti. Kallion ja verhousrakenteen välisessä tilassa olevilta ankkureilta vaaditaan heikomman tarkastettavuuden vuoksi aina vähintään C5-M(H) mukaista pintakäsittelyjärjestelmää.

Teräsrakenteiden (laastijuotettavien ja kemiallisten) ankkureiden pinnoitus/minimi-vaatimus (esimerkiksi tunnelin verhousruiskubetonin ja raskaiden varusteiden ankkuroinnit):

- Tunneliaukossa
  - kuumasinkitys: paksuusvaatimus NCCI T Taulukko 4
  - kierretavarat lisäksi SFS-EN ISO 10684
- Verhousrakenteen ja kallion välissä
  - epoksinpinoitus (vähimmäispaksuus 15 µm) ja kuumasinkitys (NCCI T Taulukko 4)

Mekaanisesti kiinnitettävien (lyönti-, ruuvi- yms) pieniläpimittaisten kiinnikkeiden (<M12) materiaali-vaatimus (esimerkiksi palonsuojalevyjen kiinnittimet)

- haponkestävä teräs - laadut: A4 / 1.4401 / 1.4404 / 1.4435 tai
- hcr teräs (high corrosion resistant) - laadut 1.4529 / 1.4565

Teräskokoonpanojen kiinnikkeet valitaan rakenteen käyttöikämitoituksen perusteella kuumasinkitystä, ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä NCCI T kappaaleen 3.4.5 mukaisesti.

Kiinnittimen (pienempi rakenneosaa) materiaalin tulee olla vähintään yhtä jalo kuin kiinnitettävä materiaali. Epäjalompi metalli tulee eristää jalommasta metallista esim. kumisin aluslevyin niin, että metallista kontaktia näiden välille ei pääse syntymään.

Suolasumumurasituksen ulottuma-alueen ulkopuolella ja suolaamattomilla teillä voidaan käyttää myös säänkestävästä eli ilmastorasitusta kestävästä (patinoituvasta) SFS-EN 10025-5 mukaisesta teräksestä valmistettuja rakenteita ottaen huomioon NCCI T:ssä esitetyt vaatimukset (erityisesti rakokorroosion osalta).

## 2.6 Lujituspultit ja kallioankkuroinnit

Kallion lujituspultituksen tarkoitus on estää lohkojen irtoaminen kalliomassasta. Lujituspultit voidaan jakaa toimintatapansa mukaisesti kolmeen ryhmään: juotetut pultit (passiivipultti), kärkiankkuroidut pultit (aktiivipultti) sekä kitkapultit (aktiivipultti). Lisäksi käytössä on ns. yhdistelmäpultteja, joissa pultit kärkiankkurin avulla ensin esijännitetään ja juotetaan lopuksi.

Rakenteiden ankkuroimisessa kallioon käytetään vain juotettuja tai kärkiankkuroituja pultteja. Kallioankkureille on käytettävä vähintään kaksinkertaista korroosiosuojausta (esimerkiksi juotosbetoni/laasti sekä kuumasinkitys). Juotoslaastin rasitusluokissa otetaan huomioon kalliopohjaveden vaikutus. Korroosiosuojauksen määrittelyssä otetaan huomioon rakenteen käyttöikä sekä siihen kohdistuvat ympäristörasitukset (myös kalliopohjavesi on otettava huomioon). Rakenteiden perustusten ankkuroinnissa on lisäksi otettava huomioon ohjeiden Sillan geotekninen suunnittelu ja NCCI 7 vaatimukset.

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry:n ohjeessa RIL 266-2014 ”Kalliopultitus-ohje” on kerrottu tarkemmin kallioon asennettavista pulteista. Käytettävät lujituspultit ja kallioankkuroinnit hyväksytetään Liikennevirastolla.

## 2.7 Varusteet ja laitteet

Tietunnelin varusteiden ja laitteiden materiaaliominaisuuksien ja säilyvyyden on oltava varusteita ja laitteita koskevien ohjeiden mukaiset.

## 2.8 Materiaalien osavarmuusluvut

Rakenteellisen mitoituksen suunnitteluotaksumat ja muun muassa materiaalien osavarmuusluvut valitaan Liikenneviraston materiaalikohtaisten eurokoodin soveltamisohjeiden mukaisesti.

## 2.9 Käyttöikävaatimukset

Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteena on 100 vuoden käyttöikä.

Sekundääristen rakenteiden suunnitteluperusteena on 50 vuoden käyttöikä.

Varusteiden ja laitteiden kiinnittämiseen tarvittavien osien suunnitteluperusteena on 50 vuoden käyttöikä.

Varusteet ja laitteet: Ovien suunnitteluperusteena on lähtökohtaisesti 30 vuoden käyttöikä. Muiden varusteiden ja laitteiden käyttöikä annetaan varusteita ja laitteita koskevissa ohjeissa.

Rakenteet detaljeineen tulee suunnitella kestäämään kunnossapito- ja huoltotoimet. Esimerkiksi tunnelin verhouksen materiaali- ja pintakäsittelyvalinnoissa on otettava huomioon tunnelin säännöllinen korkeapainepesu.

## 3 Kuormat ja mitoitusperusteet

### 3.1 Yleistä

Rakenteiden pysyvinä ja muuttuvina kuormina käytetään Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI1 mukaisia kuormia. Betonirakenteen kutistuman määrittely ja pakovoimien käsittely on esitetty soveltamisohjeessa NCCI 2.

NCCI1:n kuormia täydennetään seuraavilla jäljempänä tarkennettavilla kuormilla:

- Liikenteen aiheuttamat painekuormat
- Lumi- ja jääkuormat
- Lämpötilakuormat
- Lohkareiden putoamiskuorma
- Varusteiden ja laitteiden kiinnitysosien kuormat
- Törmäyskuormat
- Räjähdyspainekuormat
- Työnaikaiset kuormat
- Muut lisäkuormat

Kohdissa 3.3 ... 3.10 annetut kuormien lukuarvot ovat kuormien ominaisarvoja.

### 3.2 Osavarmuusluvut ja kuormitusyhdistelyt

Kuormien osavarmuuskertoimet rakenteiden mitoituksessa ja kuormitusyhdistelyissä ovat NCCI 1 mukaiset seuraavin täydennyksin:

- Liikenteen aiheuttamat ilmanpainekuormat käsitellään samoilla yhdistelyker-toimilla kuin ratasilloille määritellyt ”AE Aerodynaamiset vaikutukset”  
 $\psi_0=0,8$        $\psi_1=0,5$        $\psi_2=0,0$
- Ilmanpainekuorma on väsyttävä kuorma ominaisarvollaan
- Kaikille tässä mainituille NCCI 1:tä täydentäville kuormille käytetään murtoti-lan osavarmuuskertoimena arvoa 1,5
- Törmäys-, räjähdys- ja putoamiskuormat ovat onnettomuuskuormia
- Lumi- ja jääkuorman yhdistelykertoimet  
 $\psi_0=0,7$        $\psi_1=0,5$        $\psi_2=0,2$
- Verhousrakenteen jääkuormalla ei ole pitkäaikaisosuutta  
 $\psi_0=0,6$        $\psi_1=0,5$        $\psi_2=0,0$

Liitteessä 2 on esitetty yksinkertaistetut kuormitusyhdistelytaulukot verhousraken-teen kiinnityksille.

### 3.3 Liikenteen aiheuttamat painekuormat

Tunneliaukkoon rajoittuvat rakenteet, varusteet ja laitteet mitoitetaan liikenteen aiheuttamille painekuormille seuraavasti:

- Painekuorma (ylipaine) on 0,8 kPa rakenteille, joiden molemmilla puolilla ilmanpaine voi vaihdella.
- Painekuorma (ylipaine) on 0,5 kPa rakenteille, joiden toisella puolella on suljettu ilmatila ja ilmanpaine voi vaihdella vain toisella (paineiskun kuormittamalla) puolella.
- Negatiivinen painekuorma (alipaine, imukuorma) on -0,8 kPa kaikille rakenteille.
- Kaikki tunneliaukon reunoilta ulkonevat rakenteet, varusteet ja laitteet mitoitetaan sekä positiiviselle (ylipaine) että negatiiviselle (alipaine, imu) painekuormalle  $\pm 1,0$  kPa.

Painekuorma on muuttuva, liikkuva ja väsyttävä kuorma, jonka otaksutaan vaikuttavan 50 metrin matkalla koko tunneliaukossa tai vain tunneliaukon toisella puolella siten, että syntyy vaarallisin kuormitusyhdistelmä. Kuormitusyhdistelyssä painekuorma vaikuttaa samanaikaisesti vain yhteen suuntaan.

### 3.4 Lumi- ja jääkuormat

Lumi- ja jääkuormat ovat muuttuvia ja liikkuvia kuormia. Lumikuorma vaikuttaa painovoiman suuntaisesti ja jäätymiskuorma aina kohtisuoraan rakennetta vastaan.

Verhousrakenteet mitoitetaan pakkasmäärälle F50. Verhousrakennetta ei mitoiteta varsinaiselle jään painekuormalle. Tihkuvan veden jäätymiseen ja jään kertymiseen verhousrakenteen lämpimälle puolelle varaudutaan jäätymisen lisäkuormalle 3,0 kN/m<sup>2</sup>. Kuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, jos lämmöneristeet mitoitetaan pakkasmäärälle F100.

Tietunnelin suuaukkorakenteet mitoitetaan pystysuoralle lumikuormalle. Mikäli suuaukon yläpuolella on kinostumista aiheuttava este tai ulkonema, otetaan kinostuminen huomioon rakenteiden mitoituksessa. Mitoitus lumikuormille tehdään ohjeen RIL 201-1 mukaisesti käyttäen ohjeessa esitettyjä paikkakuntaakohtaisia lumikuorman ominaisarvoja ja tässä ohjeessa kappaleessa 3.2 esitettyjä yhdistelykertoimia. Suuaukkorakenteet mitoitetaan samanaikaiselle jäätymisen lisäkuormalle 5 kN/m<sup>2</sup>.

### 3.5 Lämpötilakuormat

Tunneliputket, kuilut ja niihin verrattavat ulkoilmaan rajoittuvat osin lämpötilan vaihtelulle alttiina olevat rakenneosat mitoitetaan seuraaville lämpötilamuutos- ja lämpötilaerokuormille:

- Rakenteen maksimilämpötila on + 20 °C ja minimilämpötila on -30 °C. (Linjan Oulu-Kuopio-Lappeenranta länsipuolella -25 °C) Asennuslämpötilaksi otaksutaan +10 °C. Myös todellista asennuslämpötilaa voidaan käyttää, jos se on luotettavasti tiedossa.

- Maa- tai ilmatilaan rajoittuvien (maalla tai lämmöneristeellä) eristettyjen verhous-, seinä- ja holvirakenteiden pintalämpötilaerona voidaan käyttää yleensä  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tietunnelin suuaukkorakenteet mitoitetaan sillansuunnitteluohjeiden mukaisille lämpötilamuutos- ja lämpötilaerokuormille. Lämmöneristetty tai yli 750 mm paksuisen maakerroksen peittämä rakenne käsitellään lämpötilan vaihtelulta suojattuna.

Tietunnelin sisätiloihin tai lämmitettyihin tiloihin rajoittuvien rakenteiden lineaarinen pintalämpötilaero arvioidaan tapauskohtaisesti.

Lämpötilakuormat yhdistellään lämpötilakuormaryhmäksi NCCI 1:n kappaleessa D esitetyllä tavalla.

## 3.6 Lohkareiden putoamiskuorma

Tunnelin suuaukon ulkopuoliset kalliopinnat lujitetaan aina siten, että irtolohkareiden putoamisvaaraa ei ole. Tällöin suuaukkorakenteita ei mitoiteta putoamiskuormille.

Poikkeuksellisessa tapauksessa kalliorakennesuunnittelija arvioi putoavaa lohkaretta vastaavan staattisen mitoituskauorman ja hyväksyttää sen Liikennevirastolla. Lähtökohtaisesti lohkareen kuormana käytetään 50 kN, joka vaikuttaa mielivaltaiseen kohtaan sijoitetun 0,1 m säteisen ympyrän alueeseen.

Tunnelin sisäpuoliset kalliopinnat lujitetaan aina siten, että irtolohkareiden putoamisvaaraa kalliotunnelin verhousrakenteelle ei ole. Poikkeuksellisessa tapauksessa kalliorakennesuunnittelija arvioi putoavaa lohkaretta vastaavan staattisen mitoituskauorman ja hyväksyttää sen Liikennevirastolla. Lähtökohtaisesti lohkareen kuorma arvioidaan tapauskohtaisesti lujituspulttien keskinäisen etäisyyden perusteella.

Lohkareen putoaminen katsotaan onnettomuustilanteeksi.

## 3.7 Varusteiden ja laitteiden kiinnitysosien kuormat

Kiinnitysosien kuormat määritellään tapauskohtaisesti ottaen huomioon varusteiden painon lisäksi aiemmin (kappaleessa 3.3 ) esitetyt painekuormat. Lisäksi on otettava huomioon varusteiden ja laitteiden käytöstä aiheutuvat dynaamiset kuormat.

Varustekohtaisten kuormien ohella otetaan huomioon seuraavat ohjeet:

- Yhtenäiset asennukset kuten kaapelihyllyt tai valaisinkiskot mitoitetaan vähintään hyötykuormalle 1,0 kN/m.
- Yksittäinen kiinnitysosa mitoitetaan vähintään 5 kN hyötykuormalle.
- Yli 5 kN painoisten rakenteiden kiinnitys yhdellä kiinnitysosalla ei ole sallittua.

Varusteiden kiinnitys mitoitetaan niin, että yhden kiinnityksen vaurioituminen tai pettäminen ei aiheuta jatkuvaa asennusten sortumista. Kiinnityksen vaurioituminen katsotaan onnettomuustilanteeksi.

### 3.8 Törmäyskuormat

Tunneli mitoitetaan törmäyskuormille eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 ja Liikenneviraston NCCI 1:n periaatteita noudattaen. Tunneliaukossa olevia kantavia rakenteita ei mitoiteta törmäyskuormalle, jos rakenteeseen törmäminen on estetty tai rakenne sijaitsee NCCI 1 kappaleessa F määritetyn alarajakorkeuden yläpuolella.

Tietunnelin seinän alaosa mitoitetaan alla olevan taulukon mukaisille törmäyskuormille. Rakenteen kiinnityksen tulee kestää vastaavat kuormat.

Taulukko 4. Tietunnelin seinän alaosan törmäyskuormat

Liikenteen luokka	Kuorma $F_{dx}$ [kN]	Kuorma $F_{dy}$ [kN]
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet, joilla suurin sallittu ajonopeus $v > 50$ km/h	360	240

x= liikenteen suunta, y= liikennettä vastaan kohtisuora suunta

Liikenneviraston soveltamisohjeen NCCI 1 mukaisesti:

- $F_{dx}$  ja  $F_{dy}$  eivät vaikuta törmäystilanteessa samanaikaisesti.
- Törmäyskuorma jaetaan korkeussuunnassa alueelle 0,5–1,0 m ajoradan/luiskan pinnasta mitattuna ja leveydelle 1,50 m tai rakenneosan leveydelle sen mukaan, kumpi on pienempi.

Seinän alaosa saa liikkua törmäyksen voimasta enintään 0,2 m sivusuunnassa elleivät seinän takana mahdollisesti olevat järjestelmät edellytä pienempää sallittua siirtymää.

Tunneliaukossa sijaitsevat sekundääriset rakenteet mitoitetaan staattisesti vaikuttavalle pistekuormalle 20 kN, jonka vaikutuspinta on mielivaltaisesti sijoitettu ympyrä  $\varnothing 0,1$  m. Kuorman arvo on 50 kN sellaiselle seinälle tai pilarille, joka erottaa tunneliaukon muusta tilasta.

Korkeuden rajoitinportaalit mitoitetaan rakenteen yläosaan vaikuttavalle staattiselle vaakasuoralle kuormalle 200 kN, jonka vaakasuora jakautumisleveys on 2,0 m ja jakautumiskorkeus 0,1 m.

Törmäysriskiä kantaviin rakenteisiin tulee aina pyrkiä vähentämään rakenteellisin ratkaisuin. Korkeuden rajoitinportaaali on tästä hyvä esimerkki.



## 3.9 Räjähdyspainekuormat

Tunnelin kantavat rakenteet mitoitetaan tunneliputkessa tapahtuvalle räjähdyskuormalle tämän ohjeen liitteen 3 taulukon luokittelua noudattaen (sama luokittelu on esitetty kappaleissa 3.9.1 ja 3.9.2). Hankekohtaisen tulkinnan räjähdyspaineen ottamisesta huomioon ja räjähdyspaineen tyypistä tunnelin rakenteiden mitoituksessa tekee tietunnelin hallintoviranomainen.

### 3.9.1 Räjähdyspainekuormien käyttö

Lähtökohtaisesti betonitunnelin kantavat rakenteet mitoitetaan deflagraatiolle. Mikäli päällerakentamattomalle vain kohtalaisesti liikennöidylle betonitunnelille on hyväksyttävä kiertotie tai tämän betonitunnelin liikennemäärä (KVL) on alle 6 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, voidaan vaatimuksesta poiketa. Katastrofaalisin seurauksin vaurioituvan päällerakentamisen yhteydessä betonitunnelin rakenteet mitoitetaan aina deflagraatiolle.

Kalliotunnelin kantavia rakenteita ei lähtökohtaisesti mitoiteta deflagraatiolle. Päällerakennettavan kalliotunnelin kestävyys deflagraatiolle tulee kuitenkin osoittaa ohuen kalliokaton alueilla (kalliokaton paksuus alle 5 metriä) tai silloin, kun kalliokaton paksuuden suhde tunneliaukon kokoon on pieni. Kestävyys osoitetaan kalliorakennesuunnittelijan lausunnolla tai deflagraatiomitoituksella.

Lähtökohtaisesti tunneleita ei mitoiteta detonaatiolle.

### 3.9.2 Räjähdyspainekuormat

Tunnelien räjähdyspainemitoituksen paineiden ja niiden kestoajojen ohjeelliset mitoituservot ovat esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 5).

*Taulukko 5. Deflagraation ja detonaation painekuormat ja kestoajat*

	Paine [kPa]	Kesto aika [ms]
<b>Deflagraatio</b>	+100	50
<b>Detonaatio</b>	±5000	5

Taulukossa esitetyt painekuormat ovat dynaamisia. Dynaaminen mitoituksen sijaan rakenteet voidaan mitoittaa käyttämällä staattista korvauskuormaa. Tällöin dynaaminen mitoituskorma muunnetaan staattiseksi korvauskuormaksi kertomalla paineen arvo kertoimella 2,0. Positiivinen paine kuvaa räjähdyspisteestä ulospäin suuntautuvan räjähdysvaihetta ja negatiivinen paine päinvastaisen suuntaista räjähdysvaihetta jälkeä vaikuttavaa imupainetta.

Deflagraatiossa varsinaisen imukuorman sijaan tulee ottaa huomioon dynaamisen kuorman jälkeinen vastaimpulssikuorma. Kuorman suuruus tulee arvioida tapauskohtaisesti ottaen huomioon muun muassa tunnelin ja sen mahdollisten täyttökerrosten rakenne. Vastaimpulssikuorman maksimiarvona voidaan lähtökohtaisesti käyttää deflagraation painekuorman arvoa.

Deflagraatiossa räjähdyspaineen oletetaan vaikuttavan tunneliputken kaikkiin sisäpintoihin samanaikaisesti. Detonaation huippupaineen oletetaan vaikuttavan 10 metrin etäisyydellä räjähdyspisteestä samanaikaisesti kaikissa tunnelinputken sisäpinnoissa. Positiivinen ja negatiivinen vaihe tarkastellaan erillisinä tapahtumina.

### 3.10 Muut lisäkuormat

Suuaukkorakenteiden ja muiden maan- tai vedenpaineen kuormittamien rakenteiden mitoituksessa otetaan huomioon mahdollinen ylitäyttö sekä vedenpinnan alin ja ylin mahdollinen korkeusasema. Maanpaineen lisääntyminen rakenneosan siirtymisestä maata vastaan tulee ottaa huomioon.

Maanpinnalla vaikuttaa muuttuva liikkuva hyötykuorma vähintään 4 kN/m<sup>2</sup>, ellei muu hyötykuorma ole tätä suurempi. Tämän pintakuorman vaikutus maanpaineeseen tulee ottaa huomioon.

### 3.11 Työnaikaiset kuormat

Tunnelin rakenteet mitoitetaan työnaikaisille kuormille, joita aiheuttavat mm. noste, toispuoleiset maanpaineet, lopputilannetta pienemmät alapohjan täytöt, korjaustöiden aiheuttamat kaivannot putkilinjojen kohdalla, työnaikainen liikenne, materiaalien välivarastointi ja asennuksen edellyttämät nostot rakenteen pohjalta ja päältä.

## 4 Rakennetekninen mitoitus

### 4.1 Yleistä

Tunnelirakenteista laaditaan rakennelaskelmat voimassaolevan taitorakenteiden/siltojen rakennelaskelmaohjeen mukaisesti (LO 12/2012).

### 4.2 Rakenneanalyysit

Käytetyt rakenneanalyysit ja rakennemallit kuvataan rakennelaskelmissa. Analyysimenetelmien tulee olla ohjeiden tai yleisesti hyväksytyjen periaatteiden mukaisia.

### 4.3 Murtorajatilat

Laskelmat laaditaan Liikenneviraston voimassaolevien materiaali kohtaisten eurokoodien soveltamisohjeiden mukaisesti.

### 4.4 Käyttörajatilat

Mitoitus käyttörajatilassa tarkastetaan Liikenneviraston voimassaolevien materiaali kohtaisten eurokoodien soveltamisohjeiden mukaisesti.

### 4.5 Väsytestarkastelut

Tunnelin verhousrakenteelle ja varusteille, sekä niiden kiinnikkeille aiheutuu liikenteen ilmanpaineesta merkittäviä väsyttäviä rasituksia. Mitoitus väsymisen suhteen tehdään eurokoodin SFS-EN 1993-1-9 periaatteita noudattaen tässä esitettyjen tarkennusten mukaisesti.

Jännitysjaksojen lukumäärä väsytestamitoitusta varten on selvitettävä hankekohtaisesti ottaen huomioon rakenteen ominaisuudet, liikennemäärä ja liikenteen koostumus sekä rakenteen käyttöikä. Yleensä ilmanpaine kuorman toistuvuus rakenteen käyttöiän aikana on niin suuri, että väsymismitoituksessa päädytään lähelle alemmaa väsymisrajaa.

Yksinkertaistetusti rakenteen (yleensä teräksisen kiinnikkeen) käyttöikää väsytestarkastelussa voidaan pitää rajattomana, mikäli ilmanpaine kuormasta aiheutuva käyttötilan rasitus on aksiaalirasitusta, ja sen aiheuttama jännitysvaihteluväli on suuruudeltaan pienempi kuin pultin alempi väsymisraja eurokoodin SFS-EN 1993-1-9 mukaisesti. Alempi väsymisraja jaetaan tässä tapauksessa osavarmuusluvulla 1,0. Väsytestävän kuorman osavarmuusluku on 1,0.

Ilman tarkempia selvityksiä rakenne- tai harjateräspultin vetokestävyyden väsytestaluokka on SFS-EN 1993-1-9 mukaisesti 50 MPa ja sen alempi väsymisraja 20 MPa.

Yksinkertaistettu tarkastelu:

- Lasketaan vedetylle pultille tuleva ilmanpaineineen huippu- ja minimiarvojen aiheuttama jännitysvaihteluväli.
- Rajoitetaan jännitysvaihtelu vedetyn pultin alemman väsymisrajan laskenta-arvoon.
- Lisäksi:
  - On otettava huomioon, että vedetylle kierteitetylle pultille tulee käyttää jännityksen laskennassa tehollista pinta-alaa.
  - Pienet pääasiassa epätarkkuuksista johtuvat taivutusrasitukset voidaan jättää tässä tarkastelussa huomiotta.

Väsytyksjaksojen lukumäärä ja painekuormien kehittyminen tunneliaukossa voidaan määrittää myös edellä mainittua tarkemmin. Väsymiskestävyys voidaan määrittää tällöin SFS-EN 1993-1-9 liitteen A kumulatiiviseen vauriosummaan perustuen. Tällöin kestävyys osavarmuuslukuna käytetään arvoa 1,15.

## 4.6 Onnettomuustilanteet

Tässä kappaleessa onnettomuustilanteina käsitellään eurokoodin SFS-EN 1991-1-7 tarkoittamia törmäys- ja räjähdysmitoitustilanteita, sekä mahdollista lohcareiden pu-toamistilannetta. Palomitoitusta käsitellään erikseen kappaleessa 4.7 .

Onnettomuusmitoitustilanne on murtorajatila. Onnettomuustilanteessa materiaalien sekä kuormien osavarmuuslukuina voidaan käyttää arvoa 1,0. Rakenneanalyysissä sallitaan kuormien jakautuminen uudelleen sekä plastisuusteorian hyödyntäminen.

Törmäystilanteen mitoituksessa sovelletaan eurokoodia SFS-EN 1991-1-7 seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- Verhousrakenne saa rikkoontua niin, että sen rakenteita joudutaan uusimaan.
- Seinän alaosan tai verhousrakenteen osat eivät saa irrota kiinnityksistään ja pudota suurina kappaleina tunneliaukkoon.
- Seinän alaosan siirtymä törmäyksen voimasta ei saa vahingoittaa mahdollisesti seinän takana olevia varusteita ja laitteita.
- Tunneliaukossa olevat varusteet ja laitteet saavat osittain vaurioitua.
- Palotiiveys saa vaurioitua paikallisesti.
- Vaurioituneiden rakenneosien tulee olla uusittavissa liikenteen merkittävästi häiriintymättä.

Räjähdystilanteen mitoituksessa sovelletaan eurokoodia SFS-EN 1991-1-7 seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- Tunnelin sekundääriset rakenteet sekä varusteiden ja laitteiden kiinnitysosat saavat rikkoontua.
- Varusteisiin ja laitteisiin kuuluvat yhdyskäytävään tunneliputkesta johtavat ovet eivät saa sortua deflagraation voimasta, mutta niiden tiiveys saa osittain heikentyä.
- SFS-EN 1991-1-7, kohdan 5.3 (1) P mukaisesti kantavien rakenteiden jatkuva sortuma tulee estää.
  - Räjähdys saa aiheuttaa suuria muodonmuutoksia, mutta ei sortumaa.
  - Yhdyskäytävän ja tunneliputken välisen seinän tiiveys saa heikentyä vain osittain.

- SFS-EN 1991-1-7 kohdan 5.3. (8) mukaisesti ylipainetta seuraa alipaine, mikä otetaan huomioon kappaleen 3.9 mukaisesti

## 4.7 Palotekninen mitoitus

### 4.7.1 Yleistä

Palotekninen mitoitus tehdään eurokoodien ja niiden kansallisten liitteiden mukaisesti noudattaen tässä annettavia erityisohjeita. Palomitoitus voidaan tehdä ohjeiden mukaisilla yksinkertaistetuilla tarkasteluilla tai kattavilla analyyseillä kyseiselle palokuormalle soveltuvien osien. Betonirakenteen kantavuuden varmistamisen ohella oleellista on betonipinnan räjähdysmäisen lohkeilun rajoittaminen.

Palomitoituksessa noudatetaan liitteen 3 taulukon luokittelua. Hankekohtaisen tulokinnan palonkestovaatimuksista tekee tietunnelin hallintoviranomainen.

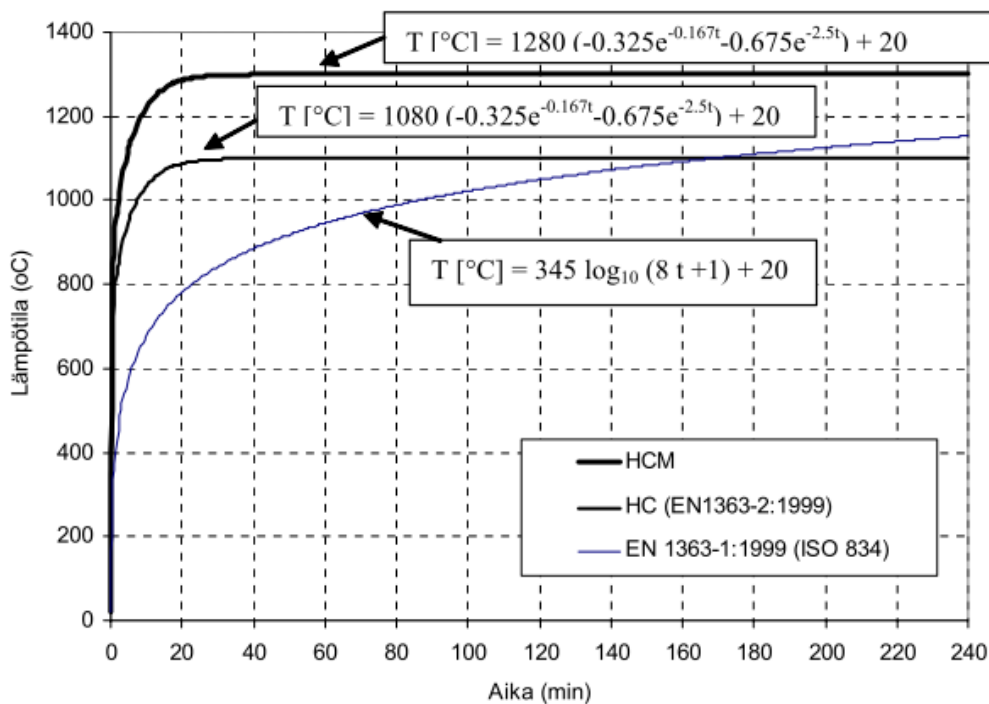
Palomitoituksessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Kantavat rakenteet eivät saa vahingoittua niin, että ne täytyy uusida. Lievät pinnan korjausta edellyttävät vauriot ovat hyväksyttäviä.
- Palotilanteessa verhousrakenne tai palonsuojamateriaali saa vahingoittua niin, että se täytyy uusida.
- Betonin räjähdysmäistä lohkeilua rajoitetaan lisäämällä palolle alttiiseen seinän yläosaan ja holvin verhousrakenteeseen mikropolymeerikuituja kappaleen 2.4 mukaisesti, tai muulla vastaavan (60 min HCM) vaikutuksen antavalla tavalla.

### 4.7.2 Vaatimukset

Palomitoitusvaatimus eri tapauksissa on koottu taulukkomuotoon liitteessä 3.

Rakenteiden palotekninen mitoitus perustuu ao. kuvassa esitettyihin aika-lämpötilariippuvuuksiin HCM ja ISO 834.



Kuva 3: Aika-lämpötilayhteys HCM-, HC- (EN 1363-2) ja EN1363-1 (ISO 834) -palokäyrät

Tietunnelin rakenteet mitoitetaan seuraavien palonkestoaikavaatimusten mukaan:

- Kantavat rakenteet HCM120 seuraavin poikkeuksin:
  - Sellaiset tietunnelin kantavat rakenteet, joiden sortuminen aiheuttaa ulkopuolisen rakennuksen tai muun ulkopuolisen kantavan rakenteen sortumisen HCM180,
  - Vesistön ylivedenpinnan alapuolelle sijoitetut upotettujen ja kelluvien tunnelien kantavat rakenteet HCM180.
- Osastoivat rakenteet EN 13501-2 EI120.
- Yhdyskäytävän rakenteet ja ovet EN 13501-2 EI 120.
  - Ovien tulee olla itsestään sulkeutuvia ja salpautuvia.
- Ikkunalliset osastoivat ovet EN 13501-2 EI60, ikkunattomat ovet EI120
  - Ovien tulee olla itsestään sulkeutuvia ja salpautuvia.
- Verhousrakenteissa olevat tarkastusluukut EN 13501-2 EI60
- Verhousrakenne (eristävyys) HCM60
- Kun rakenteen lämmöneriste on paloteknisesti huonompaa kuin B-s1, d0-luokka, sen suojabetonikuori HCM 60 minuuttia, jona aikana suojabetonikuoren eristeen puoleisen pinnan lämpötila ei saa ylittää eristeen vaurioitumislämpötilaa.

Rakenteiden läpiviennit ja saumat tehdään ja tiivistetään ko. rakenteen palonkesto-aikaa vastaaviksi. Osastoivissa rakenteissa olevien palonrajoittimien palonkestävyysvaatimus on sama kuin osastoivan rakenteen vaatimus.

Verhousrakenteen takana oleva ontelo ja siinä olevat lämmöneristeet palo-osastoidaan EI 60-katkoilla siten, että palokatkojen keskinäinen etäisyys tunnelin pituussuunnassa on enintään 150 metriä. Yleensä palokatkojen välimatka sovitetaan yhdyskäytävien jakoon.

Rakenteen kiinnityksen tulee täyttää rakenteelle asetetut vaatimukset.

Sprinklerijärjestelmän ja savunpoistopuhaltimien sekä raskaiden varusteiden kuten portaaleiden ja ilmanvaihtopuhaltimien kiinnitykset tulee suunnitella siten, että ne kestävät sortumatta lämpötilan +600 °C.

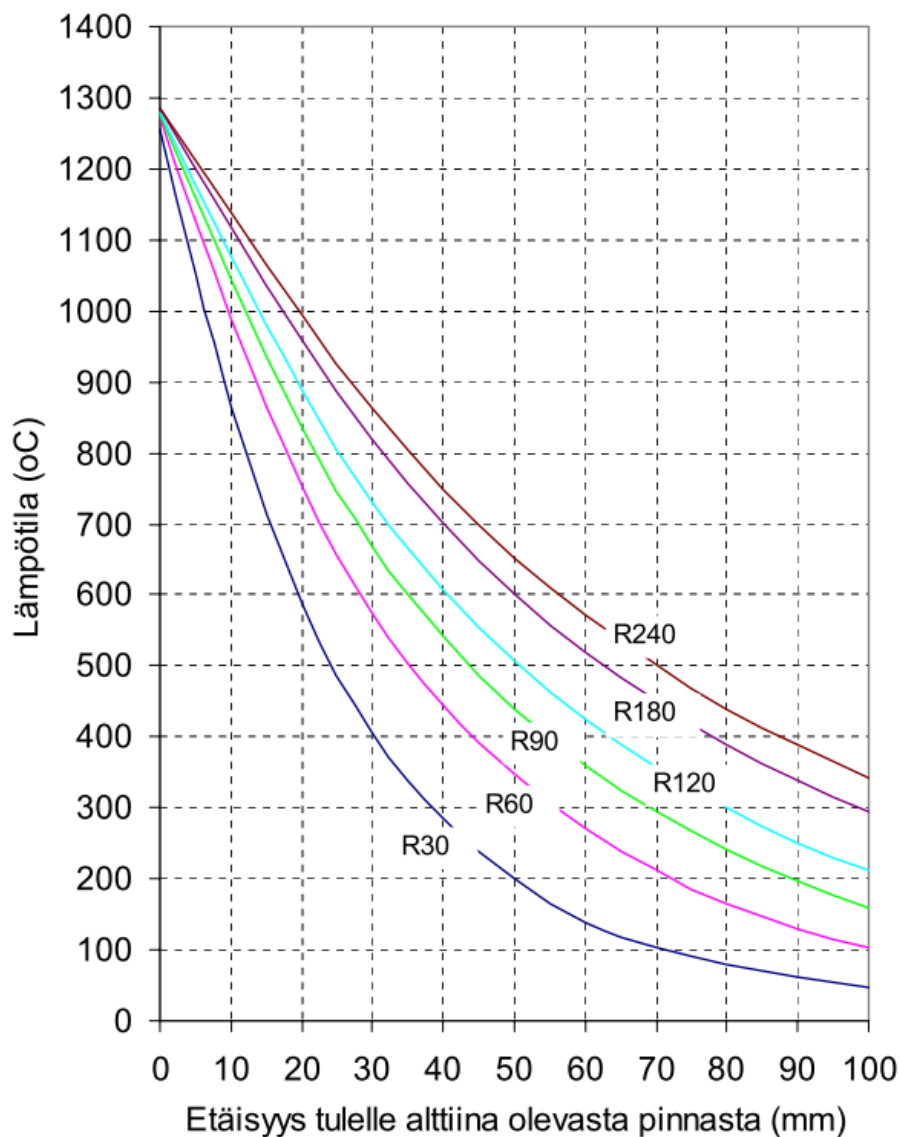
#### **4.7.3 Mitoitus**

Rakenteiden palomitoituksessa noudatetaan seuraavia eurokoodeja ja niiden kansallisia liitteitä (YM):

- Betonirakenteet SFS-EN 1992-1-2
- Teräsrakenteet SFS-EN 1993-1-2
- Liittorakenteet SFS-EN 1994-1-2

Mitoituksessa ei oteta huomioon sprinklerin tai muun sammutusjärjestelmän pienentävää vaikutusta, ellei hankekohtaisesti tietunnelin hallintoviranomaisen päätöksellä muuta sovita.

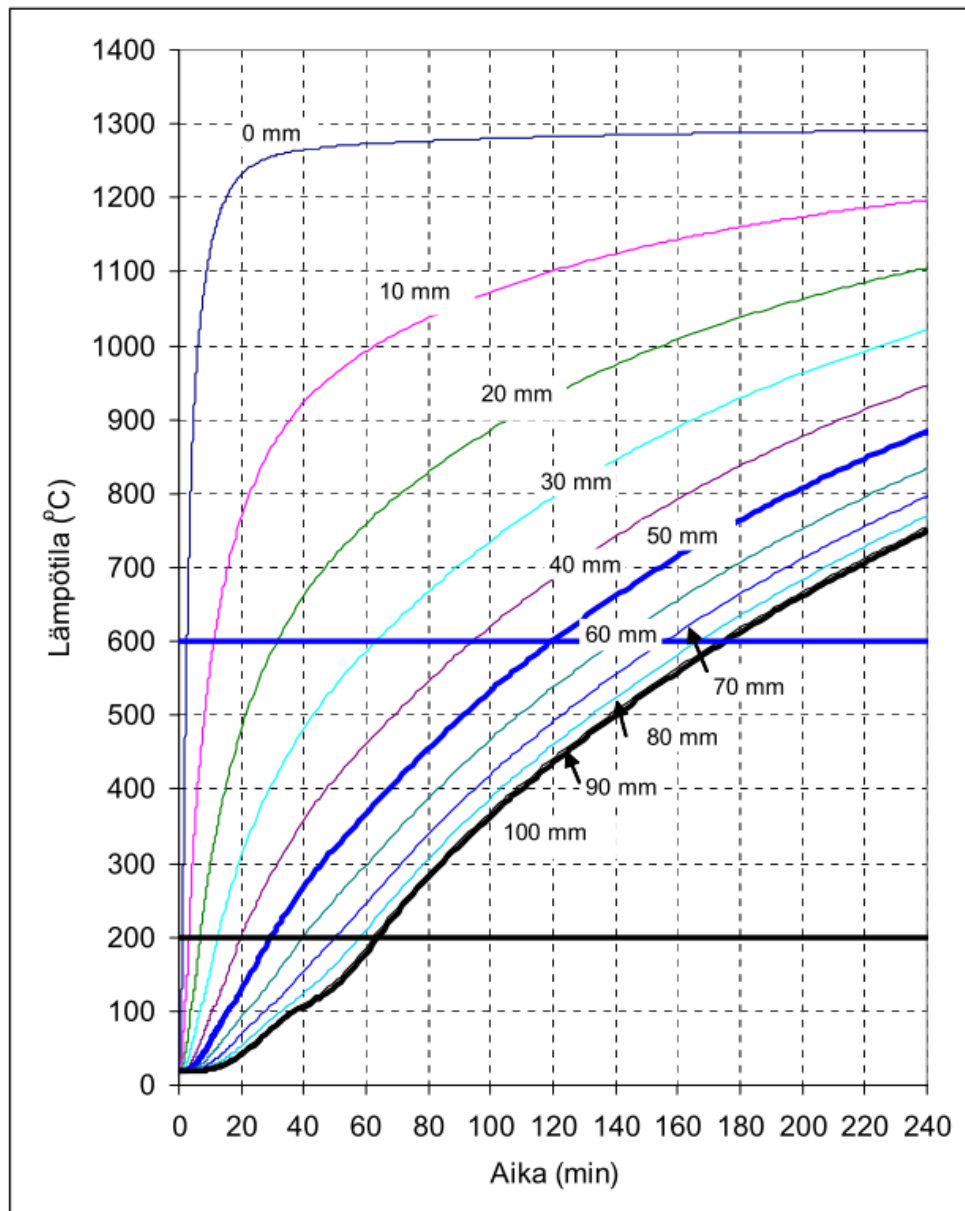
Rakenteen tulee kestää siihen palotilanteessa kohdistuvat kuormat vaaditun palonkeston ajan. Laattamaisten teräsbetonirakenteiden terästen lämpötila tangon painopisteessä voidaan valita alla olevan kuvan (Kuva 4) mukaisesta käyrästä palonkestojen mukaan.



Kuva 4. Lämpötilaprofiilit betonilaatoille palorasituksen ollessa HCM-käyrän mukainen. Betoni paksuus  $h > 200$  mm, betonin kosteusprosentti  $> 3.0$  % ja lämmönjohtavuus EN 1992 -1 -2: 2003 ylärajan mukainen

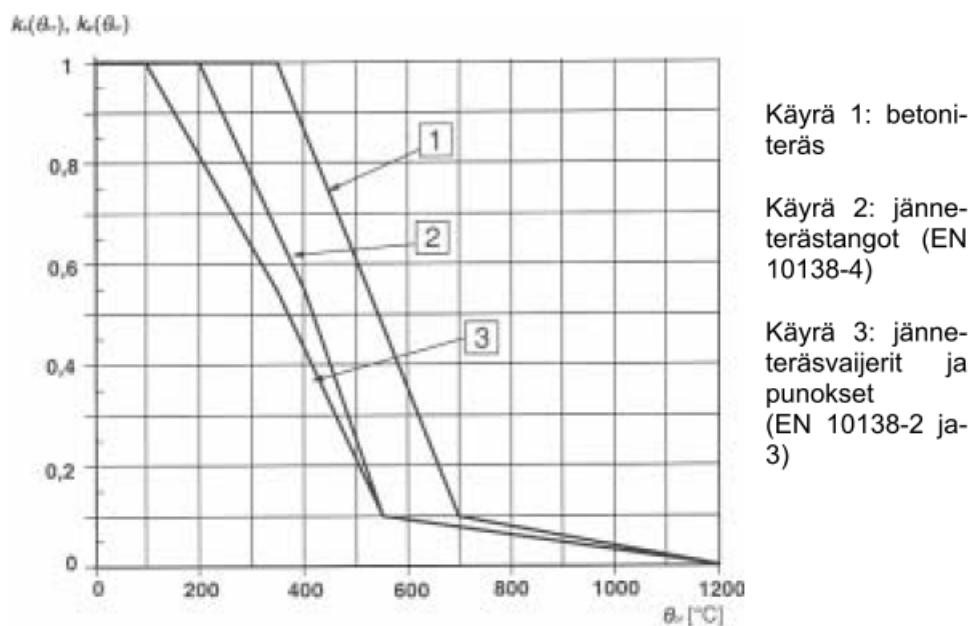
Lämmöneristeen suojabetonikuoren paksuuden mitoitus eristeen puoleisen pinnan lämpötilan funktiona voidaan tehdä seuraavan kuvan (Kuva 5) käyrästön avulla.





Kuva 5. Betonin lämpötilat ajan funktiona eri etäisyyksillä tulenpuoleisesta pinnasta palorasituksen ollessa HCM-käyrän mukainen. Betonikuoren paksuus on 100 mm ja takapinnalla ei tapahdu lämmön siirtymistä. Betonirakenteen raudoitteen kriittiseksi lämpötilaksi on otaksuttu +600 °C ja betonikuoren takapinnan eristemateriaalin lämpötilaksi +200 °C

Betoniterästen lujuuden aleneminen lämpötilan noustessa saadaan alla olevan kuvan (Kuva 6) käyrästä.



Kuva 6. Betoniteräksen lujuuden aleneminen lämpötilan vaikutuksesta, EN 1992-1-1:2003 mukaan

Mitoitusehtona on, että terästen lämpötila pysyy vaaditun palonkestoajan kriittisen lämpötilan alapuolella. Kriittisessä lämpötilassa terästen alentunut lujuus vastaa palotilanteessa teräkseltä vaadittua lujuutta. Mitoituksessa osavarmuuskertoimet valitaan onnettomuustilanteen mukaan.

Palosuojaukseen käytettäville materiaaleille ja niiden kiinnikkeille sekä kiinnitysmenetelmälle tulee hakea Liikenneviraston hyväksyntä. Palosuojauksen tulee kestää ulkoilman kosteutta ja huoltotoimenpiteitä (esim. pesu) kohdan 2.9 mukaisesti.

## 5 Rakenteelliset vaatimukset

### 5.1 Lämpötekkinen mitoitus

Tietunneleiden rakenteet lämpöeristetään jäätymis- ja routimisvaurioiden ehkäisemiseksi. Rakennevaurioita tai routimista aiheuttava liikennöintiä, huoltoa, kunnossapitoa ja laitteita haittaava jäänmuodostus rakenteissa ja rakennekerroksissa tulee estää. Kuivatus- ja viemärintijärjestelmien ja -laitteiden jäätyminen tulee estää.

Vedeneristuksen toimivuudella ja kuivatusjärjestelmällä on tärkeä rooli jäätymis- ja routimisvaurioiden torjunnassa. Vesivuotojen ja jäätymisen aiheuttamat turvallisuusriskit ja rakennevauriot estetään oikeilla rakennevalinnoilla ottaen huomioon kuivatus- ja lämmöneristysjärjestelmien kokonaistoimivuus.

Kalliotunnelin lämmöneristerakenteet suunnitellaan siten, ettei verhousrakenteen taakse pääse muodostumaan jäätä. Yleensä tarvitaan kalliopinnasta irti oleva vesi- ja lämpöeristetty verhousrakenne, joka mitoitetaan tunnelin sisäilman pakkasmäärän funktiona.

Tietunnelin pohja louhitaan riittävän syväksi sekä varustetaan massanvaihdoilla ja kuivatusjärjestelmällä routimisen estämiseksi. Koko tiepohjan laajuista lämpöeristämistä ei hyväksytä, koska rakenne on hankala kunnossapidon kannalla. Seinän alaosan perustukset ja kuivatusjärjestelmä lämpöeristetään tai ulotetaan routimattomaan syvyyteen.

Kalliotunnelin verhousrakenteen lämmöneristeet mitoitetaan pakkasmäärälle  $F_{50}$  (ks. kohta 3.4 Lumi- ja jääkuormat). Vaatimustasoa voidaan luotettavien selvitysten perusteella laskea tasolle  $F_{50T}$  (ks. RATO 18). Käytännössä tämä edellyttää lähes vastaavan tunnelirakenteen kokonaisen talvikauden lämpötilaseurantaan perustuvaa analyysiä.

Tietunneleiden rakenteiden rautasuojauksesta ja lämmöneristyksestä on annettu ohjeita kirjassa RIL 261-2013 "Routasuojaus – rakennukset ja infrarakenteet". Liikenneviraston tietunneleissa noudatetaan näitä ohjeita.

Veden imeytymisen lämmöneristyskykyä alentava vaikutus tulee ottaa huomioon lämmöneristeen mitoituslämmönjohtavuudessa. Tunneliaukkoon rajoittuvat lämmöneristeet palosuojataan kohdan 4.7 vaatimukset täyttävästi.

### 5.2 Tunnelin vedeneristys ja kuivatus

Tietunneli tiivistetään ja varustetaan sellaisilla vedeneristysrakenteilla, että haitallisia vesivuotoja ei esiinny valmiissa tiloissa. Jäätymiselle alttiissa kohdissa ja ajokais-tan yläpuolella ei saa esiintyä lainkaan vesivuotoja. Pohjaveden alapuoliset kantavat rakenteet toteutetaan vedenpaine-eristettyinä, mikäli pohjaveden vähäisestä vuotamisesta on haittaa itse rakenteelle, tilan käytölle tai maanpäällisille rakenteille. Kalliotunneleita ei yleensä mitoiteta vedenpaineelle, ellei tilan käyttö tai tilan sijainti sitä

erityisesti edellyttä. Käytettäville vedeneristysjärjestelmille tulee hakea Liikenneviraston hyväksyntä.

Betoni- ja terästunneleiden vedenpaineen alaisena eristysrakenteena käytetään tiiviin kantavan rakenteen ohella bentoniittimattoeristystä, polymeerigeomembraanieristystä (esim. LDPE- tai HDPE), 3/4-kertaista kumibitumikermieristystä tai nestemäisenä levitettävää vedeneristystä. Suunnittelija määrittelee käytettävien vedenpaineeristeiden EN-standardien mukaiset laatuvaatimukset kohteeseen sopiviksi. Valitut tuotteet hyväksytetään Liikennevirastolla.

Vedenpaine-eristyksestä on annettu yleisiä ohjeita RT-kortissa RT 83-11032. Ohjetta voidaan käyttää soveltuvilta osin. Geotekstiileiden tuotestandardeissa on annettu tarkempaa ohjeistusta: SFS-EN 13249 käsittelee yleisemmällä tasolla tuotteita ja SFS-EN 13256 erityisesti tunnelirakenteiden osalta.

Kumibitumikermien tuotestandardien (SFS-EN 13707 ja SFS-EN 14695) mukaiset laatuvaatimukset on määritetty tuoteluokittain (RIL 107-2012 mukaan). Kermeinä käytetään vähintään tuoteluokan TL 2 mukaisia kermejä.

Betoni- ja terästunneleiden saumarakenteet tulee aina varustaa yhtenäisellä kaksinkertaisella saumanauhalla tai työsaumanauhalla, sekä vedenpaineen alaiset rakenteet myös injektointiletkuilla. Liikuntasaumat suojataan mekaanisesti esimerkiksi ruostumattomalla teräslevyllä. Injektointiletkut sijoitetaan kahteen kerrokseen. Injektointiletkujen täyttöpaiikat esitetään suunnitelmissa ja täyttöpisteet rasioidaan betonirakenteen pintaan. Liikuntasauaman palosuojaus toteutetaan rakennetta vastaavaan luokkaan.

Vedenpaine-eristyksen (ja vedeneristyksen) läpiviennit minimoidaan suunnitteluratkaisuilla. Läpivientejä tarvittaessa niiden detaljit suunnitellaan huolellisesti toteutettavaksi erityisiä vedenpaineen alaisiin läpivienteihin tarkoitettuja osia käyttäen.

Muut kuin vedenpaineen alaiset maakerrokseen rajoittuvat rakenteet tulee vedeneristää maatäytteisten siltakansien tapaan (NCCI 1). Vedeneristysrakenteet tulee suojata valmistajan ohjeistuksen/InfraRYL ohjeistuksen mukaisesti suojahiekalla tai muulla soveltuvalla rakenteella

Kalliotunneli tiivistetään injektoimalla (ks. seuraava kappale). Kalliotunnelin verhouksen rakenne toimii vedeneristeenä ja verhouksrakenteiden taustat kuivatetaan salaojitusrakenteilla. Tunnelien tien alustäyttöihin rakennetaan kuivatusjärjestelmät, joiden kautta mahdolliset vuotovedet voidaan hallitusti johtaa maastoon. Tunnelien ympäristäytöt salaojitetaan ja hulevedet johdetaan hallitusti maastoon. Pohjaveden alentamistoimille haetaan aina ympäristöviranomaisen ja kaavoittajan hyväksyntä. Lähtökohtaisesti tunnelit suunnitellaan ja rakennetaan siten, ettei tunneli vaikuta haitallisesti ympäröivään pohjaveden korkeuteen.

## 5.3 Kalliotunnelin lujitus- ja tiivistysrakenteet

Seuraavissa kappaleissa on käsitelty kalliotunnelin lujitus- ja tiivistysrakenteita rakennesuunnittelijan näkökulmasta. Tämän ohjeen perustana on kalliorakennesuunnittelijan käyttötarkoituksen mukaan suunnittelema lujitettu ja tiivistetty kallio. Kalliorakenteiden toimivuuden kannalta rakennesuunnittelijan on aina oltava yhteydessä kalliorakennesuunnittelijaan, mikäli suuria kuormia ankkuroidaan kallioon tai suunniteltavilla rakenteilla on muita vaikutuksia kallioon.

### 5.3.1 Kallion lujitusrakenteet

Kalliolujituksen tehtävä on vahvistaa louhittua kalliotilaa, ohjata vesivuotoja ja estää mahdollisten kalliolohkojen putoaminen. Kalliolujitus koostuu lujituspulteista sekä ruisku- tai valubetonirakenteesta. Myös muista materiaaleista valmistettua tukirakenteita voidaan käyttää hankekohtaisesti.

Lujituspulttien tehtävä on sitoa louhinnan seurauksena mahdollisesti löyhtyneet tai kalliomekaanisista olosuhteista johtuen irtoamaan pyrkivät suuremmat kalliolohkot kiinteään kallioon. Lujitusruiskubetonirakenteen tehtävä on estää kalliopultituksen väliin jäävien pienempien lohkojen putoaminen ja kallion löyhtyminen. Ruhjeisessa kalliossa se hidastaa myös kallion rapautumista.

Valubetonirakenteiden käyttäminen kalliotunnelissa ei yleensä johdu lujitustarpeesta. Toisaalta etenkin huonolaatuisessa kalliossa tai tilanteissa, joissa kalliota ei ole riittävästi tunnelin ympärillä, valubetonirakenteiden käyttö on perusteltua tuentatarpeen takia.

### 5.3.2 Injektointi ja vedeneristys

Vesivuotojen estämiseksi tai vuotojen vähentämiseksi kalliotunnelia ympäröivä kallioperä voidaan injektoida tai vesieristää. Injektoinnissa kallioon porattuun reikään pumpataan sementtipitoista suspensiota, injektointilaastia tai muuta kemiallista injektointiainetta.

Ennen louhintaa suoritettavaa injektointia kutsutaan esi-injektoinniksi ja louhinnan jälkeen tehtävää injektointia jälki-injektoinniksi. Vedentiiviysvaatimuksista riippuen kalliorakennesuunnittelija määrittelee käytettävän menetelmän. Esi-injektointi on injektointimenetelmistä tehokkaampi. Jälki-injektointia voidaan käyttää ilman esi-injektointia tai puutteellisen esi-injektoinnin korjaamisessa.

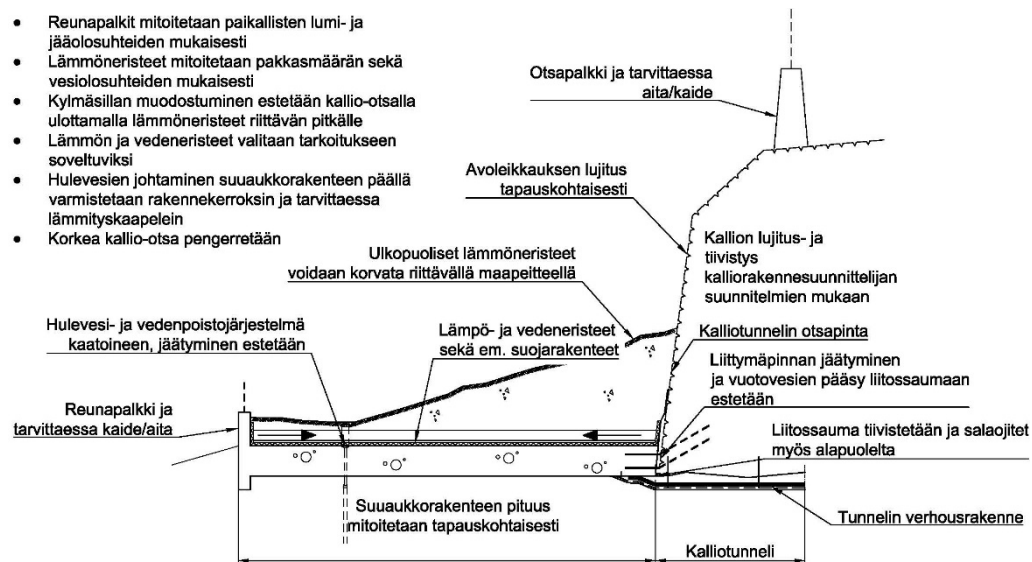
Verhousrakenne, mikäli sellainen on rakennettu, toimii yleensä vedeneristeenä. Vedeneristystä varten voidaan rakentaa betoninen vedenpainerakenne. Tavallisesti vedeneristyksellä ei tarkoiteta vedenpaine-eristystä. Verhousrakenteen lämmöneriste toimii yleensä myös vedeneristeenä. Erilaisten kalvojen käyttö osana tunneliverhous- ta on myös mahdollista. Ruiskubetonin tiiveyden varmistamiseksi ruiskubetonimasaan voidaan sekoittaa halkeamia sulkevaa lisäainetta. Jälkikäteen ruiskutettavia tiivistäviä lisäaineita voidaan myös käyttää erityisesti vähäisten vuotojen korjaamisessa. Lujitusruiskubetonin takana käytetään yleisesti ruiskubetonisaloja, joiden sijainti tulee selvittää ennen ankkurointien ja tartuntojen asentamista.

Tunnelin ympäristöolosuhteet, käyttötarkoitus, rakenneratkaisut, ympäröivät rakenteet, pohjaveden korkeus ja tunnelin sijainti määrittävät injektointitarpeen. Sementti-injektoinnilla voi paikoin olla myös lievä kalliooperää vahvistava vaikutus.

Injektointia ja injektointityötä on käsitelty standardissa SFS-EN 12715 sekä Betoniyhdistyksen oppaassa BY 53/2006.

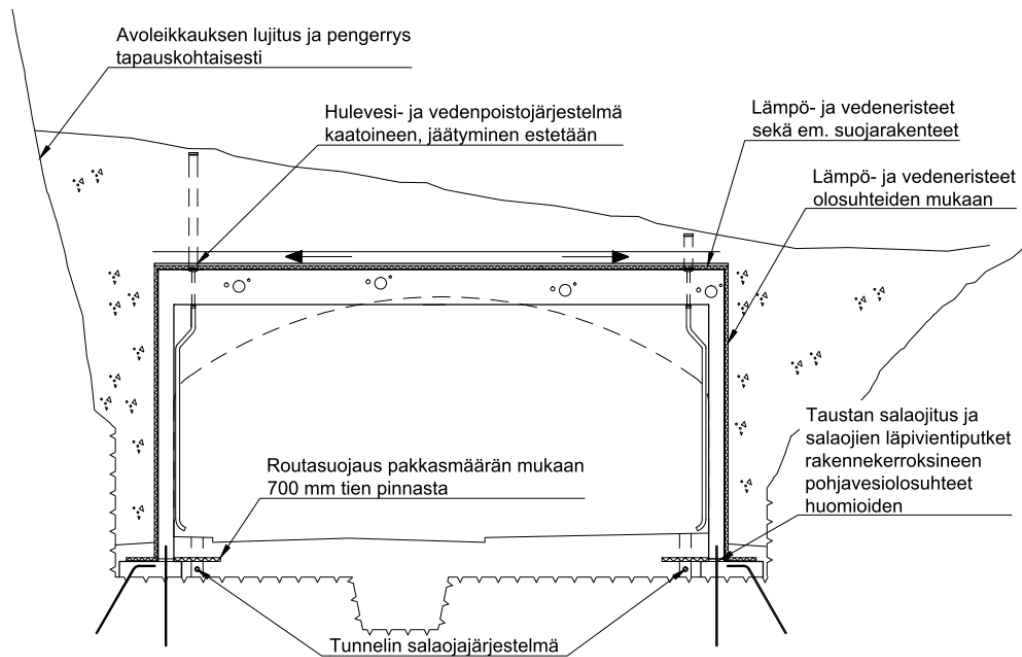
## 5.4 Suuaukkorakenteet

Suuaukkorakenteet suunnitellaan siten, että niiden avulla estetään maastosta valuvan veden, lumen tai jään pääsy ajoradalle tai kosketuksiin teknisten laitteiden kanssa. Suuaukot muotoillaan ympäristöön ja maisemaan sopiviksi. Suuaukon ympäristön muotoilulla sekä rakenteilla estetään lisäksi kivien ja muun materiaalin putoaminen ajoradalle.



Kuva 7. Esimerkki tunnelin suuaukon rakenteesta.

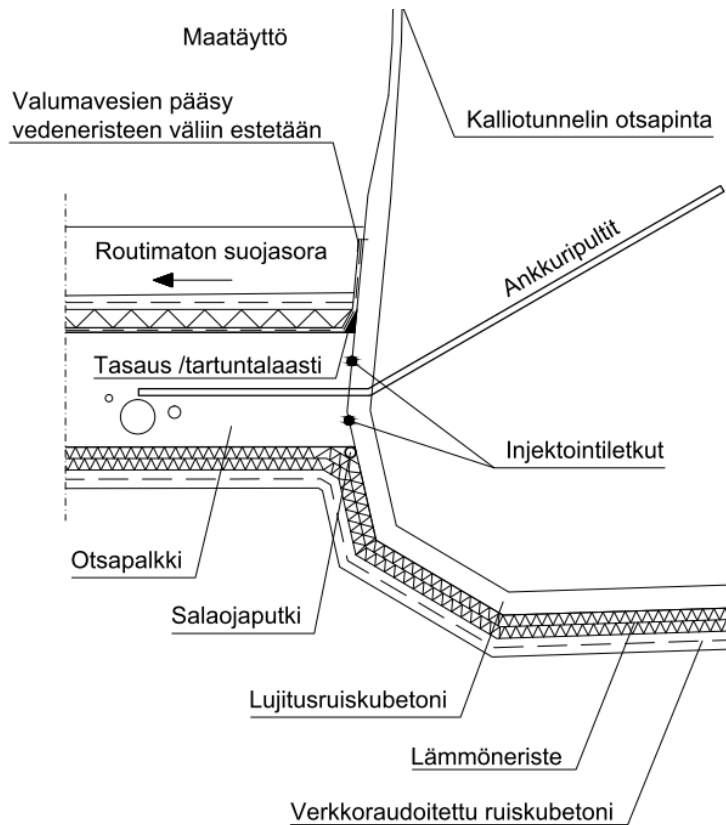
Kalliotunnelin suuaukkorakenne voi koostua suuaukkoa kiertävästä otsapalkista tai kalliotunnelin otsaan liittyvästä betonitunnelista tai sen osuudesta. Betonitunneli päättyy aina suuaukkoa kiertävään reunapalkkiin ja mahdollisesti siihen liittyvään kaukalorakenteeseen tai siipimuuriin. Tunnelin suuaukko varustetaan tarvittaessa kaiteella tai aidalla.



Kuva 8. Esimerkki tunnelin suuaukon rakenteesta.

Suuaukkorakenteen pituus, reunapalkkien ja rakenteiden korkeudet sekä lämmöneristeiden laajuudet ja paksuudet mitoitetaan pakkasmäärän sekä paikallisten vesi-, jää- ja lumiolosuhteiden mukaan. Erityistä huomiota tulee kiinnittää suuaukkorakenteiden ja kallion liitoskohtien vuoto- ja jäätymishaittojen eliminoimiseen.

Kalliotunnelin ja siihen liittyvän suuaukkorakenteen välisen sauman sulana pysymiseen kiinnitetään erityistä huomiota. Kallion ja suuaukkorakenteen välinen liitos ei saa jäätymään tilanteessa. Liitoksessa kalliotunnelin lämmöneristysrakenne ulotetaan suuaukkorakenteen puolelle tai suuaukkorakenteen sisäpinta varustetaan lämmitysjärjestelmällä. Tämän lisäksi liitoksen jäätyminen ja veden pääsy saumaan estetään sauman yläpuolelta. Suuaukkorakenteen ja kallion liitoskohdassa varaudutaan vuotoihin ja mahdollisen vuotoveden hallittuun poisjohtamiseen.



Kuva 9. Esimerkki suuaukkorakenteen liittymisestä kalliotunnelin otsaan.

Mikäli suuaukkorakenne ankkuroidaan kallioon, on suuaukkorakenteelta siirtyvät kuormat ilmoitettava kalliorakennesuunnittelijalle.

## 5.5 Törmäysrakenteet

Tunneliaukkoon rajoittuvien seinien alaosat (esim. elementit) suunnitellaan ja valmistetaan ohjeen "Tiekaiteiden suunnittelu" (Liikenneviraston ohjeita 16/2014) vaatimusten ja hankekohtaisten vaatimusten mukaisesti.

Kantavat seinän alaosan rakenteet rinnastetaan törmäysmielessä tukimuureihin. Seinien alaosat muotoillaan ohjeessa esitettyyn STEP-barrier-muotoon vähintään 0,8 m korkeuteen asti.

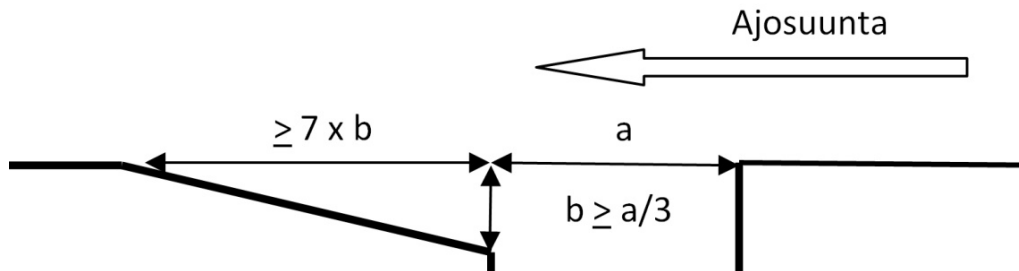
Kantavan seinärakenteen eteen voidaan rakentaa myös erillinen seinä- tai kaide-rakenne ottamaan vastaan mahdollinen törmäys. Seinän alaosaa tässä ohjeessa koskevat vaatimukset siirtyvät tällöin pääsääntöisesti erillistä rakennetta koskeviksi vaatimuksiksi.

Seinän alaosa ja mahdolliset tunnelin kaiteet aloitetaan ja päätetään kaidetyypin mukaisella siirtymärakenteella. Betonisen seinän alaosan osalta sovelletaan betonikaiteita koskevia ohjeita. Aloitus ja siirtymärakenteiden valintaperusteita on esitetty Liikenneviraston ohjeen 16/2014 kappaleessa 2.



Seinien alaosat mitoitetaan kestäämään kappaleessa 3.8 esitetyt törmäyskuormat. Suunnittelussa otetaan huomioon kappaleen 4.6 mitoitusehdot ja kappaleen 2.2 betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset.

Risteävän kulkuaukon (esim.yhdystunnelin) kulmaan törmäämisen vaikutuksia vähennetään kuvan 10 mukaisesti. Muotoilu ulotetaan tunneliaukon yläreunaan.



Kuva 10. Seinän alaosan muotoilu kulkuaukon kohdalla

Tunnelin suuaukolla seinän alaosan jatkeeksi tulee betonikaide, jonka alkupää käännetään sivuun tyyppipiirustuksen Ty 3/84 (Betonikaide siltapilarin kohdalla) mukaisesti. Betonikaide ankkuroidaan seinän alaosaan ja maahan, kuten Liikenneviraston ohjeessa 27/2013 "Tiekaiteiden suunnittelu" edellytetään tukimuurin ja betonikaiteen väliseltä siirtymärakenteelta.

## 5.6 Korkeudenrajoitinportaalit

Ylikorkeiden kuljetusten pääsy tunneliin estetään korkeusvaroittimin ja korkeudenrajoitinportalein. Ne mitoitetaan kappaleessa 3.8 esitetyille törmäyskuormille.

Korkeudenrajoitinportaaali sijoitetaan 20 cm alemmaksi kuin tunnelin holviin kiinnitettyjen laitteiden alin kohta. Korkeusvaroitin sijoitetaan tunnelin lähestymisalueelle siten, että siihen osuman havaittuaan kuljettajan on mahdollista ohjata ajoneuvonsa muulle reitille ennen korkeudenrajoitinta ja tunnelia. Korkeusvaroitin asemoidaan vähintään 10 cm korkeusrajoitinta matalammalle, jolloin minimoidaan törmäykset korkeusrajoittimeen. Korkeudenrajoitinportaalaa ei tarvita, jos tunneliin pääsevien kuljetusten korkeutta rajoittaa jokin tunnelia edeltävä törmäyskuormalle mitoitettu kiinteä este. Tällainen voi olla esimerkiksi kolhaisusuoja tai törmäysrakenteella varustettu silta.

Korkeusrajoittimen ja -varoittimen liikenneteknisen sijoituksen määrittelee liikennesuunnittelija.

## 6 Suunnitelmat

### 6.1 Yleistä

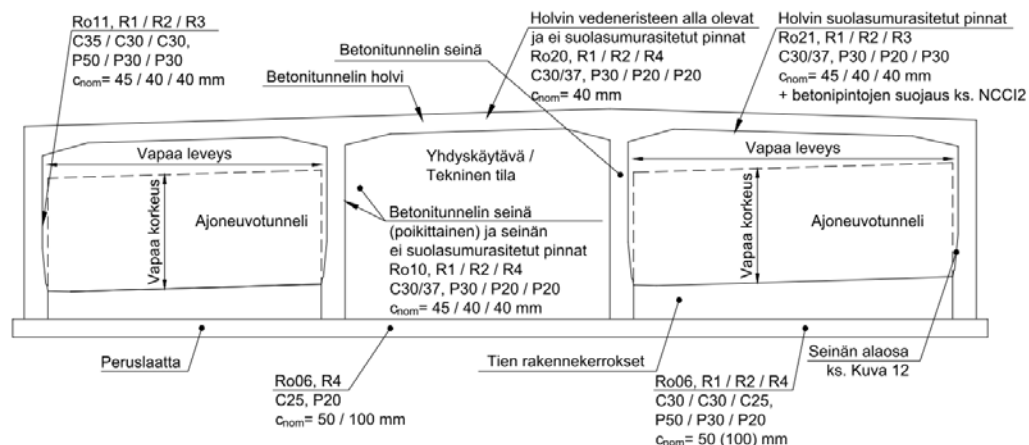
Valmiit rakennetekniset suunnitelmat talletetaan Liikenneviraston taitorakennesuunnitelmia koskevien ohjeiden mukaisesti.

### 6.2 Suunnitelmien tarkastaminen

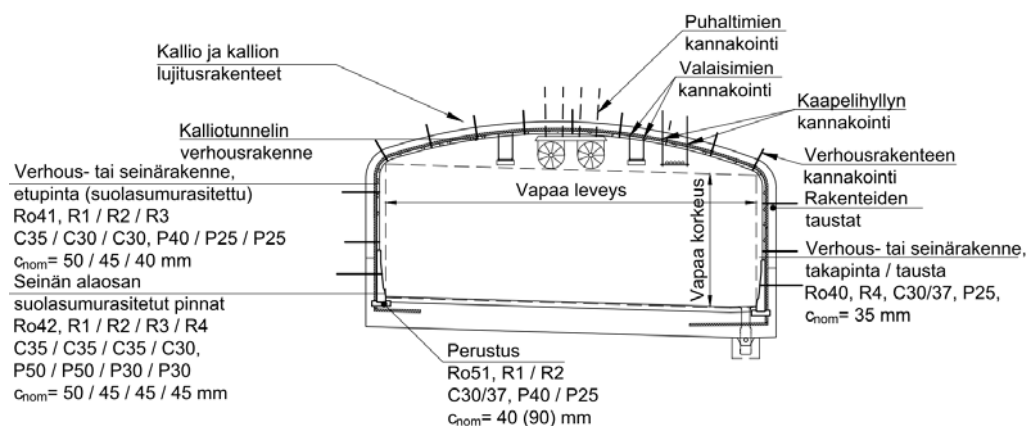
Tunnelin rakennussuunnitelmat tarkastetaan ”Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohjeen” (Liikenneviraston ohjeita 30/2014) mukaisesti. Suunnitelman tarkastajalla tulee olla vähintään sama pätevyys kuin kohteen suunnittelijalta vaaditaan.

Tietunnelit kuuluvat lähtökohtaisesti tarkastusluokkaan 2. Päällerakentamisen yhteydessä tai muun merkittävän syyn takia tarkastusluokkaa korotetaan.

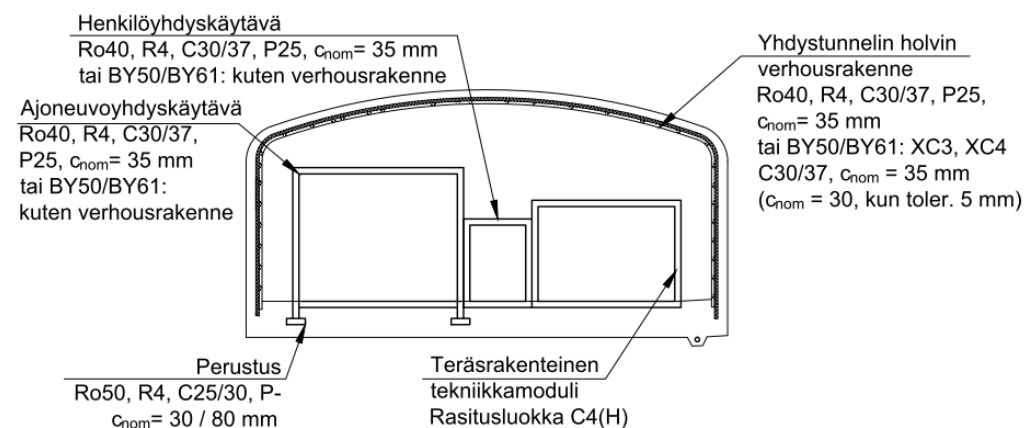
## Esimerkkejä tunnelin rakenteiden rasitusluokista ja vähimmäisvaatimuksista



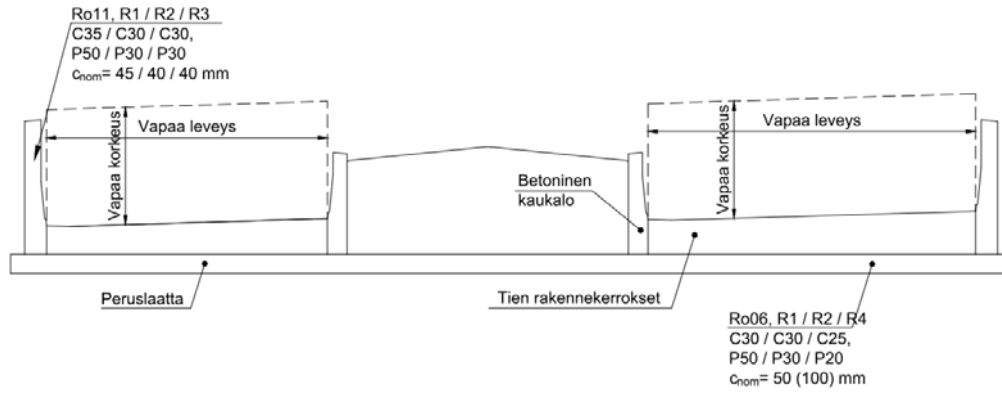
Kuva 1. Betonitunnelin rakenneosat ja rasitusluokat



Kuva 2. Tyypillisen kalliotunnelin rakenneosat ja rasitusluokat



Kuva 3. Yhdystunnelin rakenneosien rasitusluokat



Kuva 4. Suuaukkorakenteiden (esim. betoninen sisääntulokaukalo) rakenneosien rasitusluokat

## Verhousrakenteen kuormitusyhdistelyt

Alla olevissa taulukoissa on esitetty verhousrakenteen kuormien yhdistelykertoimet.

- kuorman nimi on esitetty vasemmassa sarakkeessa
- yhdistelmän yhdistelykertoimet on esitetty sarakkeittain
- Esimerkiksi - ULS1:  $1,25G + 1,5Q_{\text{paine}} + 0,9 Q_{\text{lämpötila}} + 0,9 Q_{\text{jääkuorma}}$

ULS	ULSo: OMAPAINO	ULS1: PAINEKUORMA	ULS2: LÄMPÖTILA	ULS3: JÄÄKUORMA
OMAPAINO	1,35	1,25 / 0,9	1,25 / 0,9	1,25 / 0,9
PAINEKUORMA	-	1,5	1,2	1,2
LÄMPÖTILA	-	0,9	1,5	0,9
JÄÄKUORMA	-	0,9	0,9	1,5

SLS-OMINAISS	SLS1A: PAINEKUORMA	SLS2A: LÄMPÖTILA	SLS3A: JÄÄKUORMA
OMAPAINO	1,0	1,0	1,0
PAINEKUORMA	1,0	0,8	0,8
LÄMPÖTILA	0,6	1,0	0,6
JÄÄKUORMA	0,6	0,6	1,0

SLS-TAVALLINEN	SLS1B: PAINEKUORMA	SLS2B: LÄMPÖTILA	SLS3B: JÄÄKUORMA
OMAPAINO	1,0	1,0	1,0
PAINEKUORMA	0,8	0,5	0,5
LÄMPÖTILA	0,5	0,6	0,5
JÄÄKUORMA	0,5	0,5	0,6

SLS-PITKÄAIKAINEN	SLS1C
OMAPAINO	1,0
PAINEKUORMA	0,0
LÄMPÖTILA	0,5
JÄÄKUORMA	0,0

## Palo- ja räjähdysmitoituksen lähtökohtainen laajuusvalintataulukko

	BETONITUNNELIT			KALLIOTUNNELIT (*)	
	Päällerakentamista joka voi vaurioitua tunneli- onnettomuuksissa katastrofaalisin seurauksin.	Ei päällerakentamista jonka vaurioituminen tunnelionnettomuuden seurauksena olisi katastrofaalista		Päällerakentamista alueella, jossa kalliokaton kestävyys ei välttämättä riitä estämään sortumista onnettomuustilanteessa	Muut tapaukset
		- hyväksyttävä kiertotie puuttuu ja kohtalainen liikennemäärä tai - suuri liikennemäärät	- hyväksyttävä kiertotie ja kohtalainen liikennemäärä tai - vähäinen liikennemäärä		
<b>Deflagraatiomitoitus</b>	KYLLÄ	KYLLÄ	EI	KYLLÄ	EI
<b>Detonaatiomitoitus</b>	EI	EI	EI	EI	EI
<b>Palomitoitus</b>	HCM 180	HCM 120	HCM 120	HCM 180	HCM 120

Vähäinen liikennemäärä: KVL on alle 6000.  
Kohtalainen liikennemäärä: KVL on 6000-40000.  
Suuri liikennemäärä: KVL on yli 40000.

\*) Kalliotunneleiden tulkitaan Suomessa pääosin olevan siten rakennettuja, ettei niiden sortuminen ole todennäköistä voimakkaassakaan palossa tai deflagraatiossa.

Lähtökohtainen taulukon tulkinta:

- Tunnelit mitoitetaan deflagraatiolle ja HCM180 -palolle, jos
  - betonitunnelissa on päällerakentamista tai
  - kalliotunnelissa on päällerakentamista ja kalliokaton kestävyyttä deflagraatiolle ei voida osoittaa kalliorakennesuunnittelijan lausunnolla.
- Tunnelit mitoitetaan deflagraatiolle ja HCM120 -palolle, jos
  - betonitunnelissa liikennemäärä on suuri tai
  - betonitunnelissa liikennemäärä on kohtalainen ja hyväksyttävä kiertotie puuttuu.
- Tunnelit mitoitetaan HCM 120 -palolle ilman deflagraatiota, jos
  - betonitunnelissa on vähäiset liikennemäärät tai
  - betonitunnelissa liikennemäärä on kohtalainen ja tunnelille on hyväksyttävä kiertotie tai
  - kalliotunnelissa kalliokaton kestävyys deflagraatiolle voidaan osoittaa kalliorakennesuunnittelijan lausunnolla.

Hankekohtaisen tulkinnan tekee tietunnelin hallintoviranomainen.



